



TESIS - TE142599

**OPTIMISASI REKONFIGURASI JARING
MENGUNAKAN *LOAD CURTAILMENT* UNTUK
MENGISOLASI GANGGUAN DALAM
DISTRIBUTION AUTOMATION SYSTEM PADA
SISTEM *MICROGRID***

ANDARINI ASRI
2213201006

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



TESIS - TE142599

***RECONFIGURATION NETWORK OPTIMIZATION
USING LOAD CURTAILMENT IN DISTRIBUTION
AUTOMATION SYSTEM FOR FAULT ISOLATION
IN MICROGRID SYSTEM***

ANDARINI ASRI

2213201006

ADVISOR

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT

MASTER PROGRAM

POWER SYSTEM ENGINEERING

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ANDARINI ASRI
NRP. 2213201006

Tanggal Ujian : 17 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 1949 07 19 1974 12 1001

(Pembimbing I)

2. Dr. Rony Sato Wibowo, ST., MT.
NIP. 1974 11 29 2000 12 1001

(Pembimbing II)

3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 1964 04 05 1990 02 1001

(Penguji)

4. Prof. Dr. Eng. Imam Robandi, MT
NIP. 1963 08 17 1990 03 1001

(Penguji)

5. Dr. Ardono Privadi, ST., M.Eng
NIP. 1973 09 27 1998 03 1004

(Penguji)

6. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP. 1981 09 05 2005 01 1002

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 1964 04 05 1990 02 1001



OPTIMISASI REKONFIGURASI JARING MENGGUNAKAN *LOAD CURTAILMENT* UNTUK MENGISOLASI GANGGUAN DALAM *DISTRIBUTION AUTOMATION SYSTEM* PADA SISTEM *MICROGRID*

Nama Mahasiswa : Andarini Asri
NRP : 2213201006
Pebimbing : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Ko-Pembimbing : Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

ABSTRAK

Microgrid merupakan jaring listrik dengan injeksi sumber *renewable energy* yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk bertindak berdasarkan informasi, seperti informasi mengenai *supply* dan konsumen. *Microgrid* memberikan tantangan baru, berupa otomatisasi peralatan pada sistem distribusi yang disebut *Distribution Automation System* untuk jaring listrik konvensional. Semakin meningkatnya pemakaian energi listrik maka semakin berpotensi terjadinya gangguan hubung singkat. Setelah mengetahui lokasi dan jenis gangguan hubung singkat, selanjutnya informasi ini akan diolah ke pusat kendali untuk dilakukan proses penanganan gangguan. Dalam penelitian ini, jenis penanganan gangguan yang akan digunakan adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaring. Teknik rekonfigurasi jaring yang dilakukan adalah *Load Curtailment*. Dari hasil analisis yang dilakukan, *Load Curtailment* dapat meminimalkan kerugian daya total pada jaring distribusi. Yaitu kerugian daya total terbesar pada sistem IEEE 33 Bus menurun dari 8,941362 KW menjadi 7,162925 KW dan untuk sistem Karangasem menurun dari 0,063284 KW menjadi 0,036021 KW.

Kata kunci: *distribution automation system, load curtailment, microgrid, rekonfigurasi*

Halaman ini sengaja dikosongkan

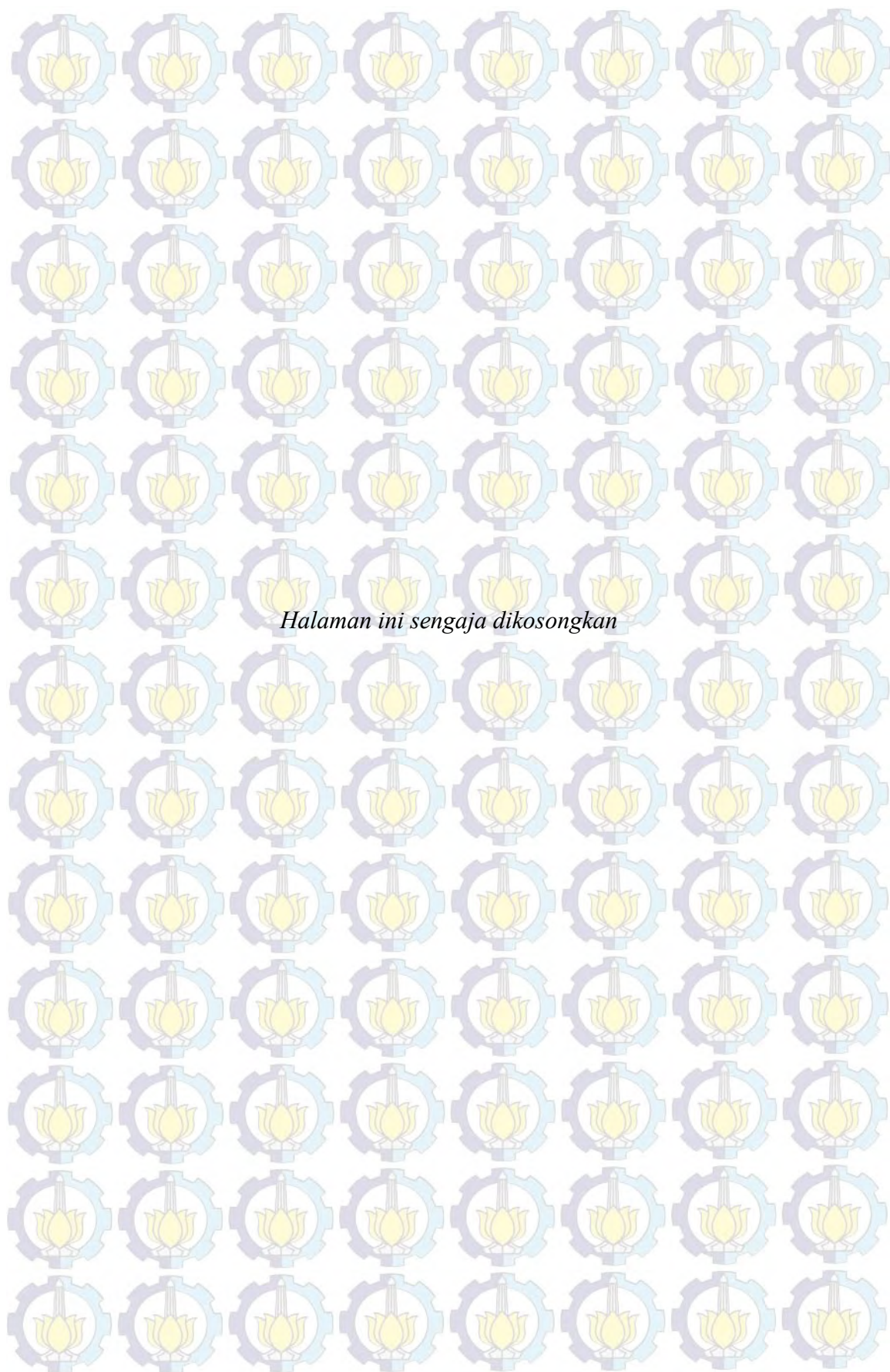
RECONFIGURATION NETWORK OPTIMIZATION IN DISTRIBUTION AUTOMATION SYSTEM FOR FAULT ISOLATION IN MICROGRID SYSTEM

By : Andarini Asri
Student Identity Number : 2213201006
Supervisor : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Co-Supervisor : Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

ABSTRACT

Microgrid is an electricital network with the injection of renewable energy sources that use information and communication technologies, such as information on the supply and consumers. Microgrid provide new challenges, such as automation equipment in the distribution system called the Distribution Automation System for conventional electricity network. The increasing consumption of electrical energy, the more potential occurrence of short circuit. After knowing the location and type of short circuit, this information will be processed to the control center to do the process of handling disturbances. In this study, the type of treatment interruption that will be used is to do a network reconfiguration. Reconfiguration techniques are Load Curtailment. From the results of the analysis carried out, Load Curtailment can minimize the total power losses in the distribution system. The largest total power losses in the IEEE 33 bus system decreased from 7.162925 KW to 8.941362 KW and for Karangasem system be decreased from 0.063284 KW to 0.036021 KW.

Key words: distribution automation system, load curtailment, microgrid, reconfiguration



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin. Segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis berjudul “OPTIMISASI REKONFIGURASI JARING MENGGUNAKAN *LOAD CURTAILMENT* UNTUK MENGISOLASI GANGGUAN DALAM *DISTRIBUTION AUTOMATION SYSTEM* PADA SISTEM *MICROGRID*”

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan ridho dan berkah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Alm. Ir. Akhmad Toyib Raharjo M.Sc. dan Ibu Hanna, kepada Alm. Bapak yang telah memberi saya support sebelum saya melanjutkan kuliah ke ITS dan selalu mewanti-wanti penulis untuk bisa menuntut ilmu melebihi beliau. Kepada Ibu yang selalu menelepon untuk meningkatkan makan dan minum madu penggemuk badan serta selalu datang ke Surabaya ketika penulis sedang sakit.
3. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc. Ph.D. dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran yang sangat bermanfaat serta bimbingan.
4. Kedua kakak saya, Ariyadi Arnas, ST. dan Arwandi Ashari, SE., terima kasih untuk dukungan moril dan materi, terutama ketika beasiswa belum cair.
5. Bayu Tri Utomo, lelaki yang banyak memberikan dan membangun motivasi ketika penulis kadang-kadang putus asa dalam pengerjaan thesis ini serta selalu mendorong penulis untuk menyelesaikan dengan cepat tesis ini agar bisa pulang kembali ke Makassar.
6. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memberikan penulis beasiswa pascasarjana BPPDN selama masa pendidikan di ITS.

7. Bapak Dimas Fajar Uman Putra, ST, MT, dan Bapak Suyanto, ST, MT, selaku dosen yang sering menginspirasi dan memotivasi serta membantu dalam penyelesaian tesis ini.
8. Kepada dosen-dosen S2 yang telah memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tesis ini. Banyak sekali pelajaran dan pengalaman berharga yang tidak akan kudapatkan di luar kampus ini.
9. Teman-teman S2 Sistem Tenaga, terkhusus Ratih Mar'atus Sholihah, Ribka Stephani, dan Nita Indriani Pertiwi yang telah banyak memberi saran yang sangat bermanfaat saat mengerjakan tesis ini. Terima kasih untuk semua traktiran, lelucon, umpatan serta waktu luang yang mereka berikan kepada penulis.
10. Teman-teman angkatan penulis sewaktu strata 1, Spyware08, yang telah banyak memberikan support yang sangat berarti demi kelancaran tesis ini.

Demikian kata pengantar ini penulis buat. Mohon maaf untuk orang-orang yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Semoga Tesis ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya. Sekian dan terima kasih.

Wassalam

Surabaya, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	HALAMAN
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Kontribusi Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	4
 BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI DAN MIKROGRID	
2.1 Sistem Distribusi	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	8
2.1.2 Analisis Aliran Daya	9
2.2 Mikrogrid Sistem Energi Terbarukan	13
 BAB 3 IDENTIFIKASI GANGGUAN DAN REKONFIGURASI JARING	
3.1 Studi Literatur.....	18
3.2 Pemodelan Sistem	18
3.2.1. Sistem IEEE 33 Bus	18
3.2.2. Sistem Karangasem	21
3.3 Identifikasi Gangguan Menggunakan Neural Network	23

3.3.1	Perancangan Neural Network	24
3.3.1.1.	Data Input	24
3.3.1.2.	Data Target	25
3.3.1.3.	Parameter Neural Network	25
3.4	Algoritma <i>Load Curtailment</i>	26
3.4.1.	<i>Main Step</i> algoritma <i>Load Curtailment</i>	28
3.4.2.	<i>Step Details</i> algoritma <i>Load Curtailment</i>	31
3.5	Diagram Alir Penelitian	36
 BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS		
4.1	Sistem IEEE 33 Bus	37
4.1.1.	Identifikasi Gangguan Menggunakan Neural Network	39
4.1.2.	Rekonfigurasi Menggunakan Algoritma <i>Load Curtailment</i>	41
4.2	Sistem Distribusi Karangasem	44
4.2.1.	Identifikasi Gangguan Menggunakan Neural Network	45
4.2.2.	Rekonfigurasi Menggunakan Algoritma <i>Load Curtailment</i>	47
4.3	Perbandingan Algoritma <i>Load Curtailment</i> dan Metode <i>Trial Error</i>	51
 BAB 5 PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
 DAFTAR PUSTAKA		57
INDEKS		59
BIOGRAFI PENULIS		61

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	NAMA GAMBAR	HALAMAN
Gambar 2.1	Contoh Sistem Distribusi Radial.....	9
Gambar 2.2	Jaringan Distribusi Radial	10
Gambar 3.1	Sistem Jaring Distribusi IEEE 33 Bus	19
Gambar 3.2	Sistem Jaring Distribusi Karangasem	21
Gambar 3.3	Struktur Neural Network.....	24
Gambar 3.4	Contoh Ilustrasi pemilihan <i>tie switch</i> berdasarkan I_{LC}^{avail}	27
Gambar 3.5	Flowchart Load Curtailment	30
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1	Kurva Hasil Training <i>Neural Network</i> Sistem IEEE 33 Bus	40
Gambar 4.2	Kurva hasil Training Neural Network Sistem Distribusi Karangasem	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

TABEL	NAMA TABEL	HALAMAN
Tabel 3.1	Data Jaring Distribusi IEEE 33 Bus.....	20
Tabel 3.2	Data Jaring Distribusi Karangasem	22
Tabel 4.1	Perbandingan Tegangan dan Sudut Pada Etap dan Matlab	37
Tabel 4.2	Perbandingan Nilai Arus Pada Etap dan Matlab.....	38
Tabel 4.3	Hasil Simulasi <i>Tie Switch</i> berdasarkan <i>Load Curtailment</i> Sistem IEEE 33 Bus	42
Tabel 4.4	Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Rekonfigurasi.....	43
Tabel 4.5	Perbandingan Nilai Tegangan dan Sudut Pada Etap dan Matlab	44
Tabel 4.6	Perbandingan Nilai Arus Pada Etap dan Matlab.....	45
Tabel 4.7	Hasil Simulasi <i>Tie Switch</i> berdasarkan <i>Load Curtailment</i> Sistem Karangasem.....	48
Tabel 4.8	Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Rekonfigurasi.....	49
Tabel 4.9	Tabel Pembanding antara <i>Load Curtailment</i> dan Metode <i>Trial Error</i> Sistem IEEE 33 Bus.....	51
Tabel 4.10	Tabel Pembanding antara <i>Load Curtailment</i> dan Metode <i>Trial Error</i> Sistem Distribusi Karangasem	52

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

$3P$	=	<i>Three Phase</i>
$BCBV$	=	<i>Bus Current to Bus Voltage</i>
$BIBC$	=	<i>Bus Injection to Branch Current</i>
DLF	=	<i>Distribution Load Flow</i>
$ETAP$	=	<i>Electric Transient and Analysis Program</i>
$IEEE$	=	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LC	=	<i>Load Curtailment</i>
LL	=	<i>Line to Line</i>
LLG	=	<i>Line Line to Ground</i>
PLN	=	<i>Perusahaan Listrik Negara</i>
SLG	=	<i>Single Line to Ground</i>
$SPLN$	=	<i>Surat Perusahaan Listrik Negara</i>
SSE	=	<i>Sum Square Error</i>
$\sum I_{L,k}$	=	<i>Jumlah Seluruh Arus Beban</i>
$I_{L,k}^{nom}$	=	<i>Total Beban Arus Nominal di Bus K</i>
I_{LC}	=	<i>Arus Beban</i>
I_{LC}^{avail}	=	<i>Arus Available</i>
I_{LC}^{opt}	=	<i>Arus Option Load Curtailment</i>
I_M	=	<i>Arus Spare Capacity</i>
$I_{arus\ bus}$	=	<i>Arus pada Bus</i>
I_k^{max}	=	<i>Arus Maksimum pada Bus K</i>

I_{out}	=	<i>Arus Output</i>
$I_{rating\ CB}$	=	<i>Arus Rating pada Circuit Breaker</i>
S_l^{max}	=	<i>Daya Kompleks Maksimum</i>
V_{ts}	=	<i>Tegangan Tie Switch</i>
$e_{p,m}$	=	<i>Kesalahan pelatihan output m saat menerapkan pola p</i>
ΔV	=	<i>Selisih Tegangan</i>
a,b,c	=	<i>phase a,b,c</i>
d	=	<i>Vektor Output yang Diinginkan</i>
I	=	<i>Arus</i>
i	=	<i>Indeks Bobot</i>
I_{ss}	=	<i>Arus Sectionalizing Switch</i>
j	=	<i>Indeks Bobot</i>
k	=	<i>Indeks Iterasi</i>
KV	=	<i>Kilo volt</i>
$KVAR$	=	<i>Kilo volt Ampere Reaktif</i>
KW	=	<i>Kilo watt</i>
m	=	<i>Indeks Output</i>
M	=	<i>Jumlah Output</i>
N	=	<i>Jumlah Bobot</i>
NN	=	<i>Neural Network</i>
n_{ops}	=	<i>Batasan Operasi</i>
o	=	<i>Vektor Output Aktual</i>
$ovrld$	=	<i>Over Load</i>
P	=	<i>Daya Aktif</i>
p	=	<i>Indeks Pola</i>

P_{loss}	=	<i>Rugi Daya</i>
pu	=	<i>Per Unit</i>
Q	=	<i>Daya Reaktif</i>
R	=	<i>Hambatan</i>
ss	=	<i>Sectionalizing Switch</i>
Teg	=	<i>Tegangan</i>
ts	=	<i>Tie Switch</i>
V	=	<i>Tegangan</i>
V_{bus}	=	<i>Tegangan Bus</i>
V_{maks}	=	<i>Tegangan Maksimum</i>
V_{min}	=	<i>Tegangan Minimum</i>
w	=	<i>Vektor Bobot</i>
X	=	<i>Reaktansi</i>
x	=	<i>Vektor Input</i>
Z	=	<i>Impedansi</i>
Z_{path}	=	<i>Jarak Impedansi</i>
$average (V_{bus})$	=	<i>Nilai Tegangan Bus Rata-rata</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen melalui saluran transmisi dan distribusi. Tujuannya adalah menyalurkan daya pada konsumen sesuai dengan permintaan, keandalan, dan kualitas sesuai standar yang tersedia.

Sistem tenaga listrik sangat rentan terhadap ketidaknormalan seperti kesalahan pada kontrol, kegagalan proteksi atau komunikasi, gangguan sistem, dan faktor eksternal alam. Dengan demikian, untuk menjaga sistem tenaga listrik tetap stabil dan handal merupakan masalah penting dalam desain sistem tenaga listrik di masa depan.

Jaring listrik konvensional tidak didesain untuk diintegrasikan dengan teknologi terbaru, kurang ekonomis, kurang memperhatikan pengaruh emisi karbon, dan tidak memperhatikan konservasi dan efisiensi energi. Jaring listrik konvensional mengalami permasalahan dalam hal-hal sebagai berikut:

1. Jaring konvensional belum diaplikasikan deregulasi pasar listrik pada jaring listrik yang menyajikan skenario aliran daya yang tidak pasti.
2. Jaring tidak mendukung aliran informasi data yang baik.
3. Peningkatan penetrasi energi terbarukan pada sistem telah menambah masalah dalam hal kestabilan sistem.
4. Masyarakat pengguna teknologi digital membutuhkan catu daya dengan kualitas dan ketersediaan yang tinggi
5. Perlunya penggunaan energi terbarukan yang memiliki dampak baik bagi lingkungan.

Dengan kekurangan-kekurangan pada jaring konvensional tersebut, muncul konsep *microgrid* yang mengaplikasikan teknologi digital dan komponen baru pada sektor tenaga listrik untuk meningkatkan keandalan, mengurangi biaya, dan meningkatkan efisiensi.

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang komunikasi dan otomasi mendorong pengembangan sistem yang konvensional ke sistem yang otomatis. Saat ini sistem tenaga listrik masih menggunakan cara yang manual untuk mengatur konfigurasi saklar penyulang pada jaringan distribusi. Hal ini dapat menimbulkan kerugian, oleh karena itu, sistem distribusi yang terotomasi *Distribution Automation System* merupakan solusi dari permasalahan tersebut

Dalam menentukan gangguan pada saluran distribusi telah menjadi salah satu perhatian utama dalam sistem tenaga listrik. Karena saluran distribusi merupakan salah satu bagian penghubung antara pusat-pusat tenaga listrik dengan sistem distribusi yang memiliki peran yang sangat vital dalam sistem tenaga. Akan tetapi, saluran distribusi juga merupakan bagian sistem tenaga yang seringkali mengalami gangguan yaitu gangguan hubung singkat pada khususnya. Arus gangguan hubung singkat merupakan permasalahan yang sering terjadi pada sistem distribusi. Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat bekerjanya peralatan pengaman. Gangguan arus hubung singkat yang terjadi pada saluran distribusi harus dapat dideteksi dengan cepat dan akurat agar kestabilan sistem tenaga listrik tetap terjaga. Penentuan lokasi arus gangguan hubung singkat pada saluran distribusi sangat penting untuk mempercepat proses perbaikan. Untuk mengidentifikasi lokasi arus gangguan hubung singkat diperlukan *Neural Network* untuk menemukan dengan cepat arus gangguan hubung singkat yang terjadi. Hal ini dilakukan dengan menganalisis informasi yang dikirim dari indikator kesalahan ke pusat kendali. Setelah menerima informasi tersebut, operator dapat mengisolasi daerah kesalahan dengan jarak jauh dengan membuka *switch* yang sesuai dan merekonfigurasi jaringan tanpa mempengaruhi kinerja sistem tenaga listrik. Mengisolasi gangguan dan merekonfigurasi jaringan akan dibahas pada penelitian ini.

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan cara mengoperasikan *sectionalizing switches* atau dengan kata lain mengubah status dari saklar terbuka atau tertutup yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi kerugian daya pada jaringan distribusi dan untuk

meningkatkan keandalan sistem distribusi sehingga efisiensi daya yang disalurkan dan pelayanan daya pada pelanggan meningkat.

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang komunikasi dan otomasi mendorong pengembangan sistem yang konvensional ke sistem yang otomatis. Saat ini, PT PLN (Persero) masih menggunakan cara yang manual untuk mengatur konfigurasi saklar penyalang pada jaring distribusi. Hal ini dapat menimbulkan kerugian, oleh karena itu, sistem distribusi yang terotomasi *Distribution Automation System* merupakan solusi dari permasalahan tersebut. Dengan adanya suatu sistem yang terotomasi, masalah yang terjadi pada jaring distribusi dapat cepat teratasi sehingga tidak terjadi pemutusan pelayanan daya (*Load shedding*) pada konsumen. Masalah kontingensi dapat diatasi dengan bentuk konfigurasi jaring yang tepat (Edwin, 2014). Metode yang digunakan untuk memilih kombinasi konfigurasi adalah *Load Curtailment* untuk meminimalkan kerugian daya total.

1.2. Tujuan dan Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini adalah:

Penelitian ini menggabungkan dua paper. Paper yang pertama yaitu mengidentifikasi gangguan *short circuit* menggunakan *Neural Network*. Paper yang ke dua merekonfigurasi jaring menggunakan metode *Load Curtailment*.

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengidentifikasi gangguan *short circuit* pada sistem *microgrid*.
2. Mengisolasi gangguan pada sistem *microgrid*.
3. Merekonfigurasi jaring menggunakan metode *Load Cuirtailment*.

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Sistem yang diujikan pada penelitian ini adalah sistem distribusi radial 33 bus.
2. Fungsi objektif dari penelitian ini adalah untuk meminimumkan losses menggunakan metode *Load Curtailment* dan dibandingkan dengan minimum losses tanpa menggunakan metode *Load Curtailment*.
3. Setelah metode *Load Curtailment* diujikan pada sistem IEEE 33 Bus, metode *Load Curtailment* ini kemudian diaplikasikan ke sistem real yaitu sistem karangasem yang berada di Jawa Timur.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan kajian sistem kelistrikan yang ada, dengan adanya kekurangan-kekurangan jaring konvensional, muncul konsep *microgrid* yang mengaplikasikan teknologi digital dan komponen baru pada sektor tenaga listrik untuk meningkatkan keandalan, mengurangi biaya, dan meningkatkan efisiensi. Selain itu, gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran distribusi harus dapat dideteksi dengan akurat agar kestabilan sistem tenaga listrik tetap terjaga. Penentuan gangguan pada saluran distribusi sangat penting untuk mempercepat proses perbaikan. Sedangkan untuk mendapatkan deteksi lokasi arus gangguan hubung singkat yang akurat dan efisien yaitu dengan menggunakan *Neural Network* pada konsep kelistrikan baru yaitu *microgrid*. Maka dalam penelitian ini akan membahas mengenai rekonfigurasi jaring. Untuk mendapatkan rekonfigurasi yang optimal maka penelitian ini menggunakan metode *Load Curtailment*. Di mana metode ini dapat mengurangi kerugian daya total.

BAB 2

SISTEM DISTRIBUSI DAN *MICROGRID*

Bab ini menjelaskan mengenai teori yang menunjang pengerjaan thesis. Pemahaman tentang rekonfigurasi jaring distribusi radial akan menjadi dasar untuk pengembangan metode yang tepat dalam upaya meminimalkan kerugian daya pada jaring distribusi tenaga listrik.

2.1. Sistem Distribusi

Sistem jaring distribusi digunakan untuk menyalurkan energi listrik berdaya besar menuju ke konsumen/ pemakai energi listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit berkisar antara 11 kV – 24 kV lalu dinaikkan oleh transformator step up lewat gardu induk menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV. Kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Pada saluran transmisi ini, tegangan diturunkan menjadi 20 kV oleh transformator step down. Melalui tegangan ini, penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Saluran inilah yang diambil oleh gardu-gardu distribusi untuk diturunkan tegangannya menjadi 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan menuju konsumen/ pemakai energi listrik.

Pada sistem penyaluran jarak jauh, biasanya digunakan tegangan setinggi mungkin. Tujuannya adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Dalam hal ini, kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir.

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (2.1)$$

Apabila daya yang mengalir dianggap sama dan nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir akan semakin kecil. Sehingga kerugian daya juga akan semakin kecil. Tetapi nilai tegangan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain:

1. Berbahaya bagi lingkungan karena medan elektromagnetik yang ditimbulkan semakin besar.
2. Mahalnya harga peralatan penunjangnya.
3. Resiko keselamatan petugas semakin tinggi

Sistem jaring distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

1. Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Tenaga Listrik

Gardu induk ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) melalui jaring distribusi primer dan jaring distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, maka gardu induk ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaring transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaring distribusi primer.

2. Jaring Distribusi Primer

Jaring ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke konsumen/ pengguna dalam sistem pendistribusian langsung. Pada sistem pendistribusian tidak langsung jaring ini merupakan tahap berikutnya dari jaring transmisi dalam penyaluran energi listrik ke konsumen/ pengguna. Jaring distribusi primer ini memiliki tegangan sebesar 20 kV.

3. Gardu Pembagi/ Gardu Distribusi

Gardu pembagi/ distribusi ini berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari jaring distribusi primer menjadi jaring distribusi sekunder. Tegangan yang dihasilkan dapat digunakan oleh konsumen/ pengguna secara langsung.

4. Jaring Distribusi Sekunder

Jaring distribusi sekunder merupakan jaring distribusi yang langsung berhubungan dengan konsumen. Besarnya tegangan untuk jaring ini umumnya 220/380 Volt. Pada fasa-fasanya terukur 380 Volt dan nilai untuk fasa netralnya sebesar 220 Volt.

Sistem tenaga listrik dibagi menjadi sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem pembangkitan memiliki peranan sebagai pembangkit energi listrik melalui pembangkit-pembangkit yang jauh dari pusat beban sehingga harus disalurkan melalui sistem transmisi atau sistem distribusi. Sistem transmisi merupakan penghubung atau penyalur energi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit ke gardu induk yang letaknya cukup jauh dari

pembangkit. Sedangkan sistem distribusi memiliki peranan yaitu menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing-masing beban atau pelanggan dengan cara mengubah tegangan listrik yang didistribusikan menjadi tegangan yang dikehendaki, karena kedudukan sistem distribusi ada pada bagian paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik.

Pada pendistribusian energi listrik ke konsumen, ada beberapa variasi *rating* tegangan yang digunakan oleh pelanggan. Untuk pelanggan industri biasa digunakan tegangan menengah 20 KV atau 6,3 KV sedangkan untuk konsumen tegangan rendah 0,4 KV yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan perumahan maupun perkantoran.

Hal hal yang harus diperhatikan pada pendistribusian tenaga listrik sampai ke pelanggan adalah sebagai berikut :

1. Regulasi tegangan

Variasi tegangan pelayanan (tegangan terminal konsumen) harus pada batas-batas yang diijinkan, maksimum 5 % dan minimum 5 %.

2. Kontinuitas pelayanan dan pengamanan

Ketika pemadaman energi listrik dapat merugikan pelanggan dan ketika terjadi gangguan harus dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Hal tersebut dapat tercapai apabila memiliki konfigurasi sistem dan sistem pengamanan yang baik.

3. Efisiensi sistem distribusi energi listrik

Menekan serendah mungkin rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang lebih baik dan juga menekan kerugian non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan dalam pengukuran.

4. Fleksibilitas terhadap penambahan beban

Untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber sampai ke pusat beban digunakan jarring tegangan menengah 20 KV.

Menurut tingkat tegangan dan distribusi saluran, sistem distribusi dapat diklasifikasikan menjadi

1. Sistem Distribusi Primer
2. Sistem Distribusi Sekunder

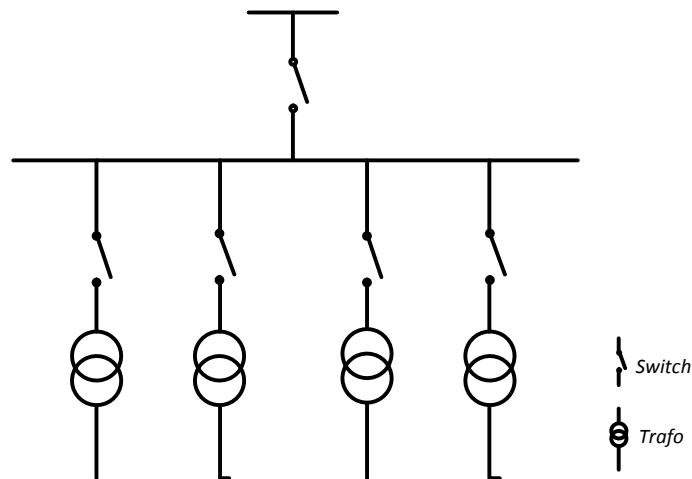
Untuk sistem distribusi primer, tingkat tegangan yang digunakan meliputi tegangan menengah 20 KV atau 6,3 KV. Distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai daya (Gardu Induk) ke pusat-pusat beban (Gardu Distribusi) dengan membentuk jaring atau penyulang-penyulang sampai ke pusat beban paling akhir. Oleh karena itu, sistem distribusi ini disebut sistem distribusi tegangan menengah.

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari Gardu Induk ke masing-masing pelanggan, seperti untuk menyuplai tenaga listrik pada daerah perumahan kecil, penerangan jalan maupun industri-industri kecil yang menggunakan tegangan rendah 0,4 KV atau 380/220 V, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah (Zulva, 2014).

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem radial adalah sistem yang paling mudah dalam pengontrolannya, dan paling sederhana. Oleh karena itu sistem ini sering digunakan. Sistem tersusun dari saluran yang ditarik dari titik sumber dan akan dicabangkangkan ke beban. Ada beberapa tipe distribusi radial yaitu radial pohon, radial dengan pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian fasa. Jaring distribusi radial pohon adalah bentuk distribusi dengan satu saluran utama disuplai menurut beban, kemudian dicabangkan selanjutnya ditambah cabang lagi yang disebut dengan anak cabang. Jaring distribusi radial dengan pemisah merupakan perubahan dari bentuk distribusi radial pohon tetapi dengan menambahkan pemisah yang digunakan untuk menjaga pelayanan konsumen, pemisah digunakan untuk melokalisir wilayah yang terjadi gangguan agar tidak menyebar ke wilayah lain yang tidak terkena gangguan. Jaring distribusi dengan pusat beban berbentuk

jaring yang menyuplai menggunakan penyulang utama langsung disalurkan ke pusat beban, dan dari pusat beban ini akan di salurkan ke beban yang lain. Jaring distribusi radial dengan pembagian fasa memiliki sistem yang berbeda antara fasa yang satu dengan yang lain. Contoh dari sistem distribusi radial ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh Sistem Distribusi Radial

2.1.2. Analisis Aliran daya

Aliran daya merupakan hal yang sangat penting dalam sistem jaring distribusi tenaga listrik. Karena dengan mengetahui aliran daya, maka kita dapat memantau beban untuk dilakukan pengaturan kualitas daya yang dikirim. Banyak peneliti yang mengembangkan metode aliran daya, khususnya pada jaring distribusi. Salah satunya adalah metode K-Matriks yang merupakan pengembangan dari metode Backward-Forward.

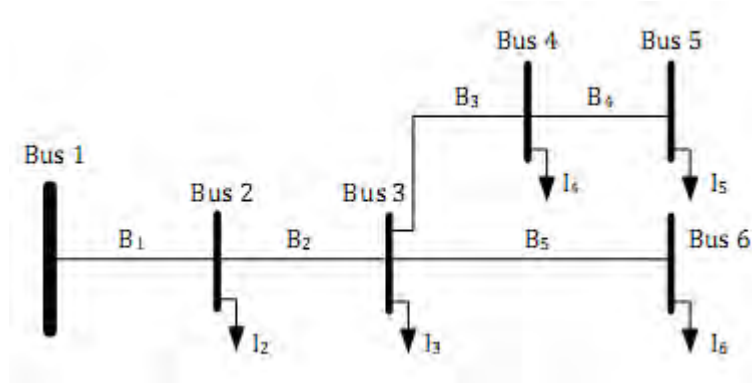
Prinsip dari metode ini adalah menghitung aliran daya menggunakan Hukum Kirchhoff. Secara umum terdapat dua langkah perhitungan yaitu :

1. Menghitung besar arus yang mengalir pada cabang yang dimulai dari beban paling jauh (ujung) hingga menuju infinite bus.
2. Mengalikan arus yang mengalir pada tiap cabang dengan impedansi saluran untuk mendapatkan nilai drop tegangan tiap saluran. Ketika nilai drop tegangan didapatkan, maka tegangan pada tiap bus dapat diketahui.

Aliran daya pada jaring distribusi radial langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

1. Membangun K-Matriks

K-Matriks merupakan pembentukan matriks impedansi dengan melakukan penelusuran alur saluran distribusi. Jalur saluran direpresentasikan dalam matriks yang menunjukkan arah arus injeksi dari satu bus ke bus yang lain. Analisanya seperti pada gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Jaring Distribusi Radial

Injeksi arus pada tiap cabang mempunyai suatu persamaan sebagai berikut.

$$B_5 = I_6 \quad (2.2)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.3)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.4)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.5)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.6)$$

Dalam aturan K-Matriks, jika suatu cabang berada pada jalur antara bus tertentu dan bus referensi dan arahnya berlawanan maka nilainya -1. Dengan demikian hubungan antara arus injeksi dan arus cabang dapat dinyatakan seperti berikut ini.

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2. Membangun Matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*)

Matriks ini sama seperti K-Matriks, yaitu menyatakan hubungan antara arus injeksi bus dan arus cabang. Isi dari matriks ini hanya 0 dan 1 saja. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$[BIBC] = - [K\text{-Matriks}] \quad (2.8)$$

$$[BIBC] = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Sehingga dari persamaan (2.8) dan (2.9), dapat ditulis secara umum sebagai berikut.

$$[B] = [BIBC] [I] \quad (2.10)$$

3. Membangun Matriks BCBV (*Branch Current to Bus Voltage*)

Matriks ini menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Sistem jaring distribusi sederhana pada Gambar 2.2, tegangan pada setiap bus dapat dinyatakan dengan fungsi dari arus cabang. Parameter saluran dan tegangan sumber dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_1 - V_2 = B_1 Z_{12} \quad (2.11)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} \quad (2.12)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} \quad (2.13)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} + B_4 Z_{45} \quad (2.14)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_5 Z_{56} \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V1 \\ V1 \\ V1 \\ V1 \\ V1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V2 \\ V3 \\ V4 \\ V5 \\ V6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & Z45 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & Z56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Persamaan 2.16 dapat ditulis secara umum sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV] [B] \quad (2.17)$$

$$[\Delta V] = [BCBV] [BIBC] [I] \quad (2.18)$$

$$[\Delta V] = [DLF] [I] \quad (2.19)$$

Matriks $[\Delta V]$ merupakan matriks yang menerangkan jatuh tegangan dari bus sumber ke bus beban dalam sistem.

4. Prosedur Perhitungan Algoritma

Penyelesaian aliran daya dapat diperoleh dengan prosedur perhitungan secara iteratif sebagai berikut.

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2.20)$$

$$[\Delta V^k] = [DLF][I^k] \quad (2.21)$$

Update tegangan baru

$$[V^{k+1}] = [V_i] - [\Delta V^k] \quad (2.22)$$

Menghitung aliran daya aktif dan reaktif

$$P_{ij} = \text{real}[V_i \{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*] \quad (2.23)$$

$$Q_{ij} = \text{imag}[V_i \{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*] \quad (2.24)$$

Menghitung kerugian daya

$$P_{\text{loss}} = \sum_{k=1}^{Nb} Z_k \left(\frac{P_k^2 + Q_k^2}{V_k^2} \right) \quad (2.25)$$

5. Jenis-Jenis Bus

a. *Slack* bus

Slack bus atau *swing* bus adalah bus yang digunakan sebagai referensi pada sistem dengan besar tegangan dan sudut fase tetap. Bus ini menambah kekurangan daya antara beban total dengan daya yang dibangkitkan yang disebabkan oleh kerugian pada jaring.

b. Bus beban

Pada bus ini, daya aktif dan daya reaktif besarnya tetap. Besar dan sudut fase tegangan nilainya tidak diketahui.

c. Bus generator

Pada bus ini, daya aktif dan besar tegangannya tetap. Sedangkan sudut fase dan besar daya reaktif dihitung, besar batasan daya reaktif juga telah ditentukan sebelumnya.

2.2. *Microgrid* Sistem Energi Terbarukan

Microgrid adalah sebuah jaring sistem tenaga listrik dalam skala kecil. Pembangkit berkisar 50kW-1kW dengan menggunakan sumber energi yang tersedia seperti mikrohidro, surya, angin, dan lain-lain. Akibat adanya keterbatasan secara ekonomi maupun kondisi geografi, sistem penyaluran listrik tersentralisasi belum bisa melingkupi semua daerah yang membutuhkan. Dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan lokal yang tersedia di masing-masing daerah, mikrogrid dapat dijadikan suatu solusi untuk mewujudkan daerah mandiri energi bagi daerah yang tidak terjangkau listrik.

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang komunikasi dan otomasi mendorong pengembangan sistem yang konvensional ke sistem yang otomatis. Saat ini sistem tenaga listrik masih menggunakan cara yang manual untuk mengatur konfigurasi saklar penyulang pada jaring distribusi. Hal ini dapat menimbulkan kerugian, oleh karena itu, sistem distribusi yang terotomasi (*Distribution Automation System*) merupakan solusi dari permasalahan tersebut. Dengan adanya suatu sistem yang terotomasi, masalah yang terjadi pada jaring

distribusi dapat cepat teratasi sehingga tidak terjadi pemutusan pelayanan daya (*Load shedding*) pada konsumen. Masalah kontingensi dapat diatasi dengan bentuk konfigurasi jaring yang tepat. Salah satu masalah kontingensi atau gangguan pada sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat.

Dalam penelitian ini, dibahas mengenai sistem jaring distribusi secara otomatis. Maksudnya adalah apabila ada gangguan yang terjadi, maka dapat dipulihkan secara otomatis. Petugas tidak perlu turun tangan ke lapangan untuk memperbaiki gangguan yang terjadi. Distribusi otomatis ini dimaksudkan untuk mempercepat penyelesaian gangguan dan dapat memonitor sistem dari jarak jauh. Semakin cepat gangguan yang dapat diatasi, maka semakin tinggi pula tingkat keandalannya. Sistem yang mempunyai keandalan tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat. Tingkat keandalan dalam pelayanan menurut SPLN 52-3, 1983:5 adalah sebagai berikut :

Tingkat 1

Dimungkinkan padam berjam-jam untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.

Tingkat 2

Padam beberapa jam untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3

Padam beberapa menit untuk memanipulasi oleh petugas yang berada di gardu atau dilakukan deteksi/ pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4

Padam beberapa detik untuk pengamanan dan manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5

Tanpa padam karena dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis.

Sistem distribusi dapat dikatakan memiliki keandalan tinggi apabila berada pada tingkat 4, 5 dan memiliki keandalan menengah apabila berada pada tingkat 3. Jika sistem berada pada tingkat 1 dan 2 maka dapat dikatakan memiliki keandalan yang rendah (Zulva, 2014).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

IDENTIFIKASI GANGGUAN DAN REKONFIGURASI JARING

Penelitian dimulai dengan melakukan pemodelan sistem. Sistem yang dimodelkan meliputi sistem distribusi diambil dari sistem IEEE 33 Bus. Kemudian diimplementasikan ke dalam sistem terbarukan saat ini yaitu sistem *microgrid*. Dalam penelitian ini memberi turbin angin sebagai sumber energi terbarukan.

Setelah mendapatkan pemodelan sistem distribusi tersebut, tahap selanjutnya yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi gangguan pada *microgrid*. Gangguan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah berupa *short circuit*. Untuk mengidentifikasi gangguan pada penelitian ini adalah menggunakan *Neural Network*. Di mana input dari *Neural Network* ini adalah arus gangguan setiap bus dan output adalah bus gangguan dan jenis gangguan. Setelah mengidentifikasi gangguan tersebut, tahap selanjutnya adalah mengisolasi gangguan yang ada. Tujuan dari isolasi gangguan ini adalah agar bagian sistem yang mengalami gangguan tidak mengganggu sistem lain. Sehingga sistem lain tetap beroperasi, walaupun beban yang berhubungan langsung dengan bus yang terkena gangguan tidak tersuplai langsung dari pembangkit ini, akan tetapi beban yang tidak tersuplai ini hanya sementara ketika terjadi gangguan.

Setelah mengisolasi gangguan, tahap selanjutnya adalah rekonfigurasi jaring. Rekonfigurasi jaring distribusi dapat dilakukan dengan tujuan untuk melepaskan beban ketika terjadi gangguan *short circuit*. Secara prinsip, rekonfigurasi merupakan cara untuk meminimumkan jarak antara beban dan suplai daya sehingga diperoleh kerugian daya yang minimal pula.

3.1. Studi Literatur

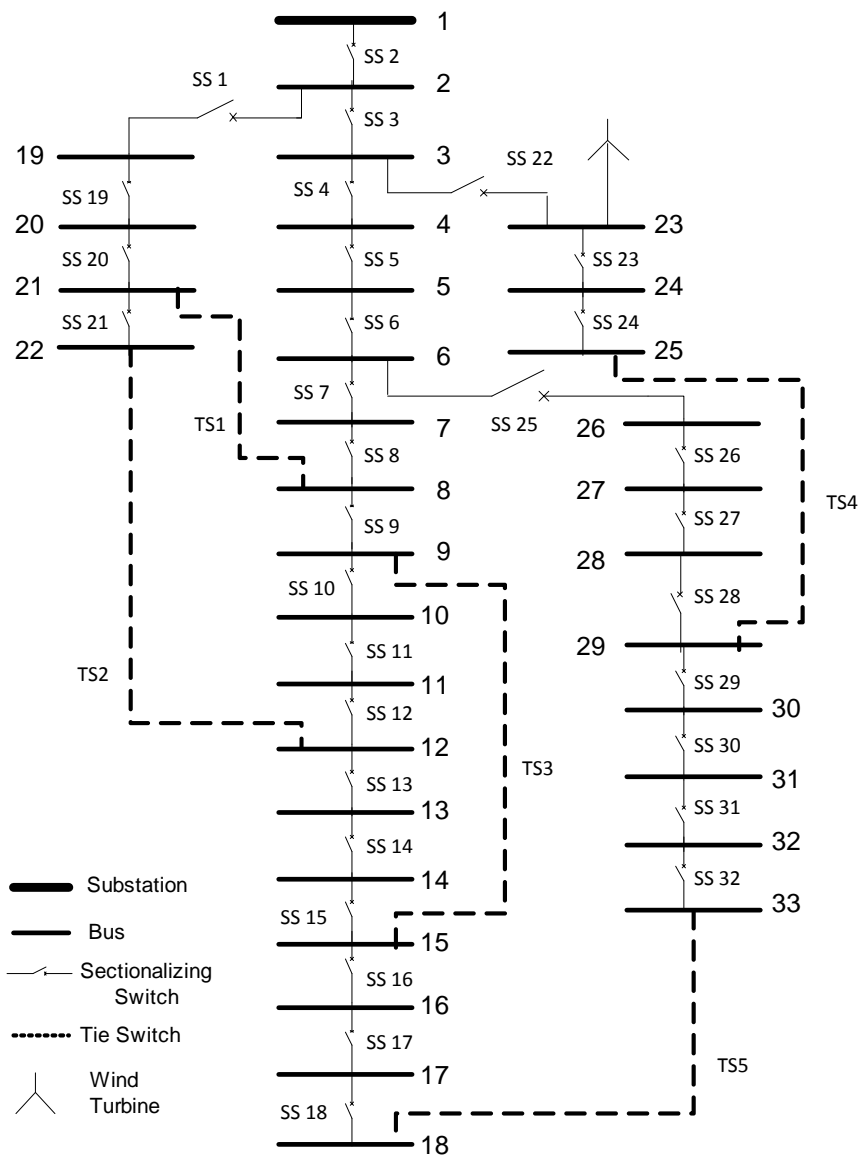
Untuk penelitian telah dilakukan studi literatur dengan cara mencari bahan bacaan yang diperoleh dari jurnal-jurnal ilmiah internasional dan buku-buku teks yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Pada penelitian ini literatur-literatur yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

1. Referensi [1] adalah paper yang menjelaskan tentang Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial.
2. Referensi [2 - 5] adalah paper-paper yang menjelaskan tentang *Microgrid*.
3. Referensi [6 - 8] adalah paper-paper yang menjelaskan tentang gangguan pada system distribusi.
4. Referensi [9] adalah paper yang menjelaskan tentang identifikasi gangguan menggunakan *Neural Network*.
5. Referensi [10 - 25] adalah paper-paper yang menjelaskan tentang metode rekonfigurasi dan algoritma yang digunakan yaitu *Load Curtailment*.

3.2. Pemodelan Sistem

3.2.1. Sistem IEEE 33 Bus

Pada penelitian ini, sistem awal yang akan diuji adalah sistem jaring distribusi IEEE 33 bus. Dimana terdiri dari 32 sectionalizing switch (normally close) dan 5 cabang tie switch (normally open). Di mana pada bus 23 dihubungkan dengan turbin angin.



Gambar 3.1 Sistem Jaring Distribusi IEEE 33 Bus

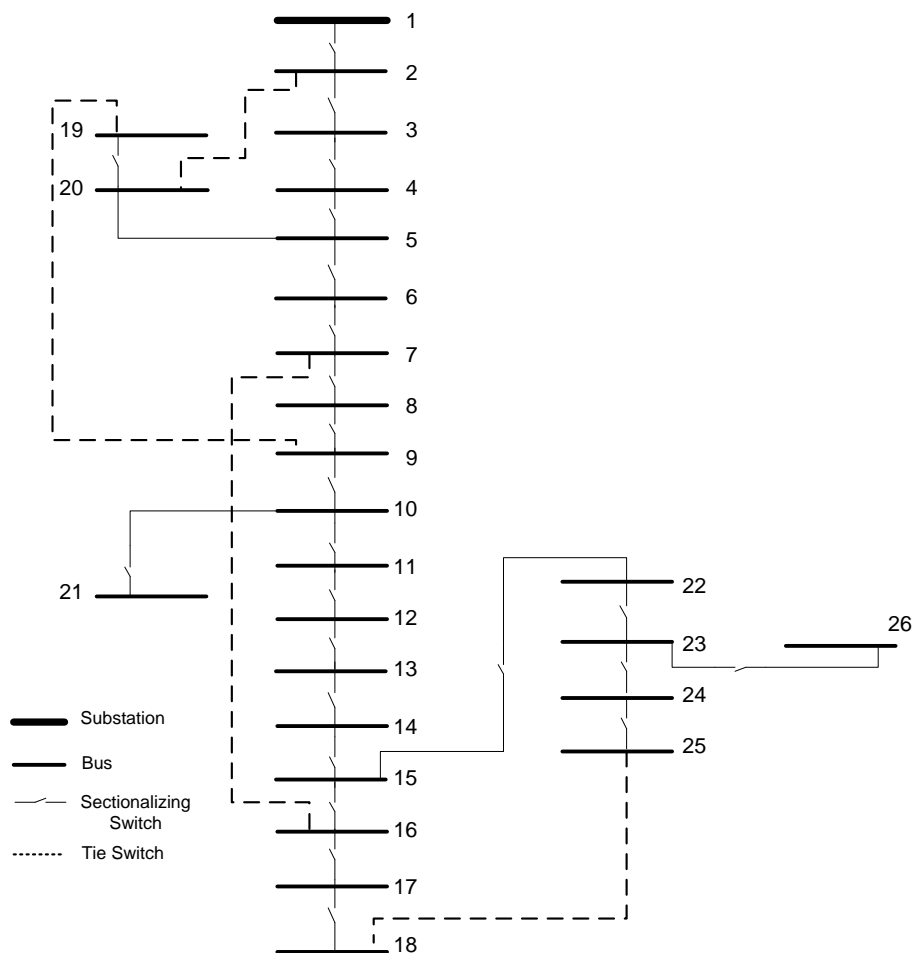
Tabel 3.1 Data Jaring Distribusi IEEE 33 Bus

Cabang nomor	Saluran		Impedansi (Ohm)		Beban	
	Dari	Ke	R	X	P (kW)	Q (kVar)
1	1	2	0,9922	0,047	100	60
2	2	3	0,493	0,2511	90	40
3	3	4	0,366	0,1844	120	80
4	4	5	0,3811	0,1941	60	30
5	5	6	0,819	0,707	60	20
6	6	7	0,1872	0,618	200	100
7	7	8	0,7114	0,2351	200	100
8	8	9	1,03	0,74	60	20
9	9	10	1,044	0,74	60	20
10	10	11	0,1966	0,065	45	30
11	11	12	0,3744	0,1238	60	35
12	12	13	1,468	1,155	60	35
13	13	14	0,5416	0,7129	120	80
14	14	15	0,591	0,526	60	10
15	15	16	0,7463	0,545	60	20
16	16	17	1,289	1,721	60	20
17	17	18	0,732	0,574	90	40
18	2	19	0,164	0,1565	90	40
19	19	20	1,5042	1,3554	90	40
20	20	21	0,4095	0,4784	90	40
21	21	22	0,7089	0,9373	90	40
22	3	23	0,4512	0,3083	90	40
23	23	24	0,898	0,7091	420	200
24	24	25	0,896	0,711	420	200
25	6	26	0,203	0,1034	60	25
26	26	27	0,2842	0,1447	60	25
27	27	28	1,059	0,9337	60	20
28	28	29	0,8042	0,7006	120	70
29	29	30	0,5075	0,2585	200	100
30	30	31	0,9744	0,963	150	70
31	31	32	0,3105	0,3619	210	100

Tabel 3.1 Data Jaring Distribusi IEEE 33 Bus

Cabang nomor	Saluran		Impedansi (Ohm)		Beban	
	Dari	Ke	R	X	P (kW)	Q (kVar)
32	32	33	0,341	0,5302	60	40
Tie Switch						
33	25	29	0,5	0,5		
34	18	33	0,5	0,5		
35	9	15	2	2		
36	12	22	2	2		
37	8	21	2	2		

3.2.2. Sistem Jaring Distribusi Karangasem



Gambar 3.2 Sistem Jaring Distribusi Karangasem

Sistem Jaring Distribusi kedua yang diuji adalah Penyulang Karang Asem yang merupakan bagian dari gardu induk Kenjeran. Penyulang ini mempunyai tegangan 20 kV, 26 bus dan 29 cabang.

Tabel 3.2 Data Jaring Distribusi Karangasem

Cabang Nomor	Saluran		Impedansi (Ohm)		Beban	
	dari	ke	R	X	P (kW)	Q (kW)
1	1	2	0,016	0,0172	0	0
2	2	3	0,004	0,0085	0	0
3	3	4	0,035	0,0549	0	0
4	4	5	0,105	0,1099	0	0
5	5	6	0,141	0,1474	110	68
6	6	7	0,019	0,0205	0	0
7	7	8	0,02	0,0212	84	52
8	8	9	0,024	0,025	55	34
9	9	10	0,026	0,0273	0	0
10	10	11	0,03	0,032	84	52
11	11	12	0,031	0,0328	0	0
12	12	13	0,021	0,0218	88	54
13	13	14	0,06	0,0633	84	52
14	14	15	0,03	0,032	0	0
15	15	16	0,064	0,0668	88	54
16	16	17	0,004	0,0048	0	0
17	17	18	0,009	0,0153	0	0
18	5	20	0,014	0,0229	0	0
19	20	19	0,001	0,001	88	54
20	10	21	0,076	0,0798	55	34
21	15	22	0,005	0,0057	84	52
22	22	23	0,063	0,0658	0	0
23	23	24	0,005	0,0054	84	52
24	24	25	0,049	0,0514	84	52
25	23	26	0,024	0,025	55	34

Tabel 3.2 Data Jaring Distribusi Karangasem

Cabang	Saluran		Impedansi (Ohm)		Beban	
No	dari	ke	R	X	P (kW)	Q (kW)
Tie Switch						
26	2	20	0,005	0,005		
27	9	19	0,005	0,005		
28	7	16	0,005	0,005		
29	18	25	0,005	0,005		

3.3. Identifikasi Gangguan Menggunakan *Neural Network*

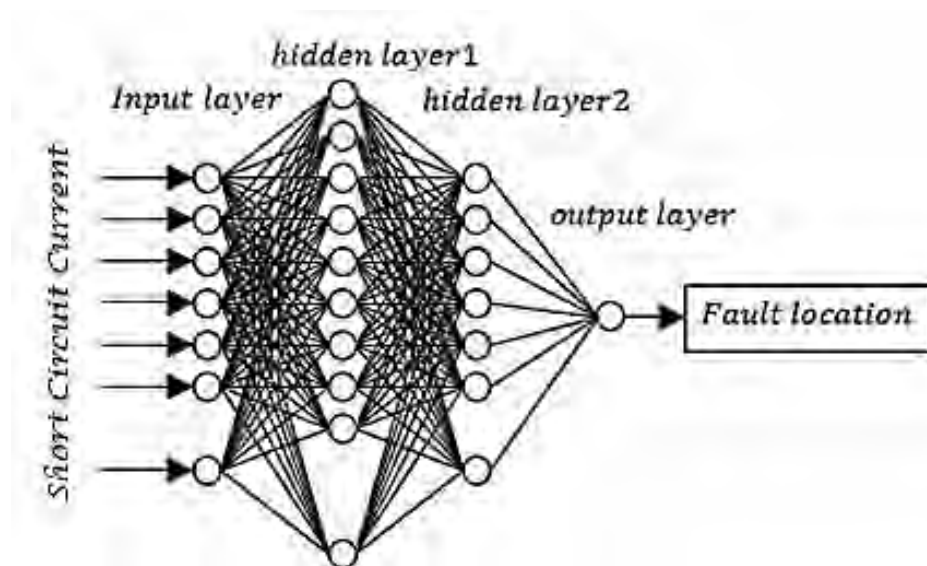
Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan–gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaring listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan tersebut perlu dilakukan metode untuk mendeteksi hubung singkat yaitu *Neural Network*.

Untuk membentuk konfigurasi *Neural Network*, diperlukan data training pada sisi input dan sisi output. Data pada sisi input adalah arus gangguan pada setiap bus. Sedangkan data pada sisi output adalah bus gangguan dan jenis gangguan.

Metode training yang digunakan adalah *Levenberg-Maquardt backpropagation*. Jumlah iterasi maksimum adalah seribu, namun karena data yang ditraining sangat banyak, maka di penelitian ini hanya memberikan jumlah iterasi sebanyak 300.

3.3.1. Perancangan *Neural Network*

Perancangan *Neural Network* dimulai dengan menentukan data input dan data target yang akan digunakan sebagai data masukan arus gangguan hubung singkat dan data lokasi gangguan arus hubung singkat. Setelah mendapatkan data input dan data target, maka perlu ditentukan parameter-parameter pelatihan penunjang *Neural Network*. Perancangan *Neural Network* ini terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi dan lapisan output. Gambar 3.3 merupakan struktur dari *Neural Network*.



Gambar 3.3 Struktur *Neural Network*

3.3.1.1. Data Input

Data input yang digunakan pada *Neural Network* ini adalah berupa arus gangguan hubung singkat. Di mana arus gangguan hubung singkat ini telah disimulasikan menggunakan salah satu software yaitu ETAP. Arus gangguan hubung singkat ini telah disimulasikan pada setiap bus. Setiap bus disimulasikan 4 gangguan, yaitu 3 Phase (3P), Line to Ground (SLG), Line to Line (LL), dan Line Line to Ground (LLG). Hasil simulasi arus gangguan hubung singkat ini menghasilkan matriks 99x132 untuk simulasi sistem IEEE 33 bus dan matriks 78x104 untuk simulasi sistem distribusi Karangasem.

3.3.1.2. Data Target

Data target atau data output dari penelitian ini adalah lokasi gangguan berupa bus gangguan dan jenis gangguan. Bus gangguan untuk sistem IEEE 33 bus sebanyak 33 bus dan untuk sistem distribusi karang asem sebanyak 26 bus. Sedangkan untuk jenis gangguan sebanyak 4 jenis gangguan yaitu *3 Phase (3P)*, *Line to Ground (SLG)*, *Line to Line (LL)*, dan *Line Line to Ground (LLG)*. Keempat jenis gangguan ini berlaku untuk kedua sistem IEEE 33 bus dan sistem distribusi karang asem.

3.3.1.3. Parameter Neural Network

Parameter Pelatihan Neural Network di antaranya sebagai berikut :

`net.trainParam.epochs=250`

`net.trainParam.lr=0,1`

`net.trainParam.mc=0,5`

`net.trainParam.goal=0,01`

`net.trainParam.show=100`

`net.trainParam.max_fail=6`

Dari parameter pelatihan di atas dapat disimpulkan bahwa jumlah iterasi yang digunakan adalah 250 untuk mencapai nilai error sebesar 0,01. Maksimal kesalahan sebanyak 6 kali.

Training yang digunakan pada penelitian ini adalah Levenberg-Marquadt. Sebelum derivasi, mari kita memperkenalkan beberapa indeks yang umum digunakan:

Indeks lain akan dijelaskan di tempat-tempat yang terkait. Sum Square Error (SSE) didefinisikan untuk mengevaluasi proses pelatihan. Untuk semua pola pelatihan dan jaring output, itu dihitung dengan :

$$E(x, w) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M e^2_{p,m} \quad (3.1)$$

$$e_{p,m} = d_{p,m} - O_{p,m} \quad (3.2)$$

3.4. Algoritma Load Curtailment

Rekonfigurasi jaring distribusi adalah mengatur ulang konfigurasi jaring dengan cara mengoperasikan *sectionalizing switch* yang terdapat pada jaring distribusi untuk mengurangi daya pada jaring distribusi dan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi sehingga efisiensi daya yang disalurkan dan pelayanan daya pada pelanggan meningkat.

Tujuan utama rekonfigurasi adalah untuk meminimalkan kerugian daya total pada jaring. Pada penelitian ini, penulis akan membahas mengenai rekonfigurasi pada sistem distribusi setelah terjadi gangguan berupa gangguan hubung singkat menggunakan metode *Load Curtailment*. Metode ini selain dapat mengurangi daya total pada jaring, juga dapat mempertahankan agar tegangan kurang lebih dari 1 per unit.

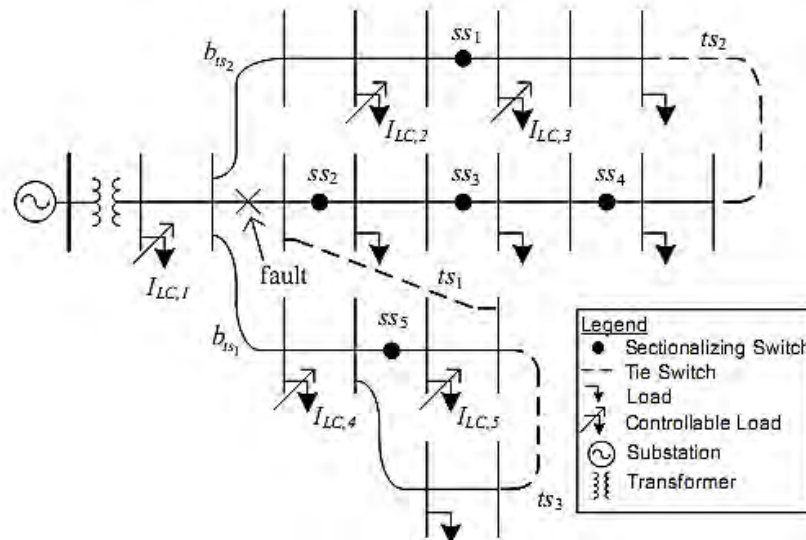
Load Curtailment memiliki 3 syarat yang harus dipenuhi untuk memilih *tie switch* yang sesuai. Syarat ini digunakan untuk mempersempit solusi pencarian *tie switch* yang optimal dan kandidat *tie switch* yang akan dipilih dalam metode ini. Dengan tujuan untuk memaksimalkan jumlah beban yang direstorasi, beberapa syarat ini akan diperlukan sehubungan dengan jumlah beban yang dapat dilayani yang terletak di antara *switch sectionalizing*. Adapun ketiga hal tersebut adalah:

1. I_{LC}^{avail}

I_{LC}^{avail} (arus available) adalah jumlah maksimum dari beban yang mungkin dapat dikurangi dari *upstream* bus untuk meningkatkan arus *spare capacity*. Beban yang dikurangi yaitu di antara cabang dan I_{LC}^{avail} . Ini dapat memberikan daya pada masing-masing kandidat *tie switch*.

$$I_{LC}^{avail} = \min_p I_{LC}^{p,avail} \quad (3.3)$$

Dari persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin minimal nilai I_{LC}^{avail} , maka semakin baik. Ilustrasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Contoh ilustrasi pemilihan *tie switch* berdasarkan I_{LC}^{avail}

Sistem di atas adalah sistem 22 bus dengan 3 *tie switch*. Terlihat gangguan terjadi pada sistem di atas. Gangguan ini mengakibatkan *downstream* bus dari bus gangguan tidak dapat menerima daya dari sumber. Sehingga mengakibatkan *downstream* tersebut dinamakan out of service area. Untuk merestorasi beban yang out of service area tersebut, maka dibutuhkan *tie switch* agar sistem dapat dipulihkan kembali. *Option tie switch* menurut I_{LC}^{avail} ini adalah ts_1 dan ts_2 . Dengan dua kandidat ini, maka I_{LC}^{avail} akan memilih satu *tie switch* yang paling optimal dengan cara menjumlahkan *upstream* bus dari masing-masing *tie switch*, seperti di bawah ini:

$$Ts1 : I_{LC}^{avail} = I_{LC,4} + I_{LC,5} \quad (3.4)$$

$$Ts2 : I_{LC}^{avail} = I_{LC,2} + I_{LC,3} \quad (3.5)$$

Melalui persamaan $I_{LC}^{avail} = \min_p I_{LC}^{p,avail}$, maka I_{LC}^{avail} akan memilih jumlah arus beban yang terkecil.

2. I_M

I_M adalah arus *spare capacity*. Arus *spare capacity* adalah kapasitas arus cadangan yang dapat memenuhi kebutuhan beban. I_M diperoleh dari :

$$I_M = I_{rating\ CB} - I_{arus\ bus} \quad (3.6)$$

I_M yang dipilih adalah nilai terbesar dari kandidat *tie switch* yang akan digunakan.

3. Z_{path}

Z_{path} adalah jarak impedansi antar bus. Z_{path} untuk meningkatkan tegangan bus dengan memperpendek jarak antar bus dengan cara:

$$Z_{path} = \frac{V_{ts}}{\sum I_{L,k}} \quad (3.7)$$

Z_{path} yang terkecil atau jarak terpendek adalah yang akan dipilih di antara kandidat *tie switch* tersebut.

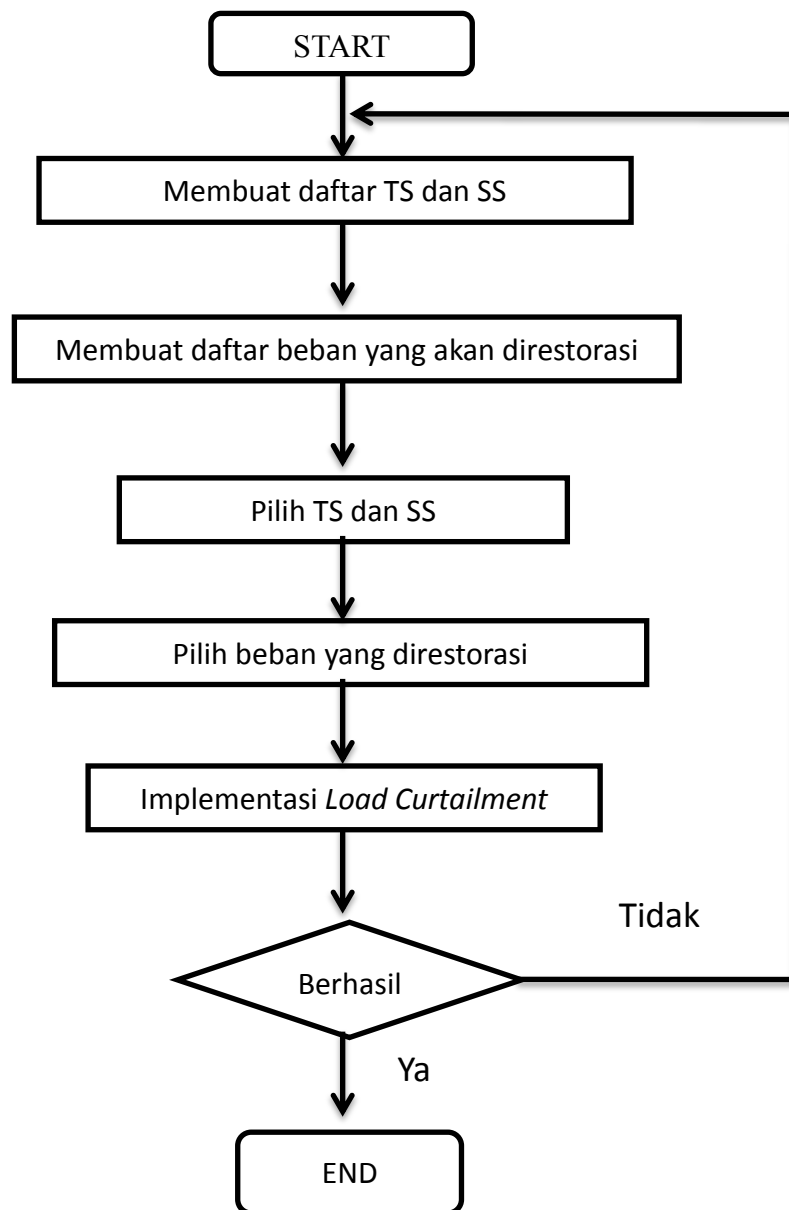
3.4.1. Main Step algoritma Load Cutailment

Solusi untuk algoritma ini, *tie switch* (*ts*) dan *sectionalizing switch* (*ss*) dipilih bersama dengan pilihan *Load Cutailment* untuk memenuhi tujuan yang telah ditetapkan. Algoritma *Load Cutailment* memilih *option Load Cutailment* yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas cadangan masing-masing *ts* memungkinkan untuk operasi beralih sedikit yang akan dilakukan dan atau beban tambahan yang harus dikembalikan dalam *out-of-service* daerah.

Langkah-langkah utama dari algoritma *Load Curtailment* adalah sebagai berikut :

1. Siapkan kandidat *tie switch (ts)* dan *sectionalizing switch (ss)*.
2. Siapkan kandidat beban yang akan direstorasi.
3. Pilih dan operasikan satu kandidat *ts* dan implementasikan algoritma *Load Curtailment* dalam merestorasi *out-of-service* area.
4. Pilih dan operasikan *ts* dan *ss* yang telah terpilih dan implementasikan algoritma *Load Curtailment*.
5. Tentukan yang mana beban prioritas dan beban non prioritas untuk direstorasi oleh *Load Curtailment* dan buka *ss*.
6. Jalankan kembali *Load Flow* jaring yang telah direkonfigurasi.

Untuk lebih memahami, berikut ini adalah flowchart dari algoritma *Load Curtailment*:



Gambar 3.5 Flowchart *Load Curtailment*

3.4.2. Step Details Algoritma Load Curtailment

Step details algoritma Load Curtailment :

1. Step 1

Membuat daftar bahan saklar. Bahan *tie switch* (*ts*) dan *sectionalizing switch* (*ss*) diidentifikasi sebagai:

- a. *ts* dari tempat pengisian energi yang dapat terhubung langsung ke dalam area *out-of-service* (luar jangkauan).
- b. *ss* yang terletak di dalam area *out-of-service* (luar jangkauan).

Kapasitas cadangan, I_M dan cabang kritis yang terhubung dengan setiap *ts* itu kemudian dikalkulasi/dihitung dari tempat kerusakan aliran listrik multiphase. Selain itu, beban arus nominal yaitu :

$$I_{out} = \sum_{k \in N_R} |I_{L,k}^{nom}| \quad (3.6)$$

2. Step 2

- 2.1. Membuat daftar bahan pembatas beban.
- 2.2. Dengan setiap bahan *ts* yg disimpan total LC yg tersedia I_{LC}^{avail} , dan jumlah bagian dari tiap individu LC pilihan, I_{LC}^{opt} .

3. Step 3

Pilih satu *ts*.

Satu operasi *ts* adalah percobaan. Jika di butuhkan, LC yang terbuka/tersedia diimplementasikan untuk memperbaharui seluruh area *out-of-service*. Jika perbaikan penuh tidak memungkinkan, bahan *ts* dengan I_M terbesar yang terpilih dan hasil algoritmanya ke langkah 4. Secara spesifik, sebuah *ts* awal dipilih melalui langkah-langkah berikut :

- 3.1. Buat daftar bahan (*ts*, I_{LC}^{opt}) pasangkan dengan $I_M + I_{LC}^{opt} \geq I_{out}$
- 3.2. Urutkan daftar dengan menambahkan perintah dari $I_{LC}^{opt} \geq I_{out} - I_M$; Jika daftarnya kosong, lanjut ke 3.6.

- 3.3. Pilih ts selanjutnya (ts, I_{LC}^{opt}) masukkan/pasangkan dalam daftar, atur ts pilihan sebagai ts_I ; jika tidak terdapat sambungan tambahan dlm daftar, lanjut ke 3.6.
- 3.4. If $I_{LC}^{opt} > 0$, jalankan LC dan lanjutkan, *else*, LC mungkin tidak di butuhkan.
- 3.5. Tutup ts_I , jalankan power flow, dan periksa pembatas nya :
- Jika semua pembatas terpenuhi, atur $n_{ops} = 1$, dan lanjut ke step 6.
 - Jika beban berlebihan muncul, buka ts yang tertutup sebelumnya, buka LC, dan lanjut ke 3.3.
 - Jika kelebihan tegangan muncul perintah ulang daftar dengan menambah perintah dari Z_{path} dan lanjut ke 3.3.
- 3.6. Pilih ts dengan I_M terbesar dan atur sebagai ts_I .
- 3.7. Tutup ts_I , jalankan power flow, dan catat besarnya kelebihan arus beban dari ts_I sebagai *overload*. Atur $N_{ops} = 1$, lanjut ke step 4:

$$Ovrld = \min_{k \in C_{u,P}} (I_k^{max} - |I_k^p|) \quad (3.7)$$

4. Step 4

Memilih bahan saklar penghubung.

Saklar penghubung dan LC di pilih secara berurutan untuk meringankan beban berlebih pada ts_1 . Untuk ts yang di berikan, bahan ss yang terdapat di area out-of-service dan di dalam jalur edar dari sisi kedua ts menuju ke arah cabang. Saklar tidak di sambungkan jika operasinya akan membuat sebuah pembatas yang baru. Penyambungan saklar dan LC dipilih dengan cara sebagai berikut :

- 4.1. Buat daftar bahan $(ts, ss, I_{LC}^{opt}, I_{LC,ts1}^{opt})$ gabungkan dengan $(I_{LC}^{opt} > Iss - Im)$ dan $(I_{LC,ts1}^{opt} > ovrl d - Iss)$, jika tidak terdapat/muncul, lanjut ke 4.6.
- 4.2. Pilih daftar dgn menambahkan perintah dari $I_{LC}^{opt} + I_{LC,ts1}^{opt}$.
- 4.3. Pilih sambungan ts, ss selanjutnya dan $(I_{LC}^{opt}, I_{LC,ts1}^{opt})$ atur opsi LC dalam daftar, atur saklar penghubung sebagai (ts_A, ss_A) . jika tidak muncul lanjut ke 4.6.
- 4.4. Jika $I_{LC,tsA}^{opt} > 0$ atau $I_{LC,ts1}^{opt} > 0$, implementasikan LC pada ts_A dan/atau ts_1 , jika masing-masing, else, LC mungkin tidak di butuhkan.
- 4.5. Operasikan (ts_A, ss_A) , jalankan power flow dan periksa pembatas.
 - a. Jika semua pembatas terpenuhi, atur $n_{ops} = n_{ops} + 2$ dan lanjut ke step 6
 - b. Jika hambatan muncul, lepas sambungan ts_A, ss_A dan LC. Lanjut ke 4.3
- 4.6. Buatlah daftar bahan (ts, ss) sambungkan dengan $Iss < I_M$.
- 4.7. Perintahkan daftar dengan mengurangi perintah dari Iss.
- 4.8. Pilih sambungan (ts, ss) selanjutnya dari daftar dan atur sambungan sebagai (ts_A, ss_A) . Jika tidak muncul, lanjut ke step 5.
- 4.9. Operasikan (ts_A, ss_A) , jalankan power flow dan cek pembatas:
 - a. Jika operasi tidak mengenalkan adanya penambahan pembatas, update *ovrl d*. Atur $n_{ops} = n_{ops} + 2$ dan lanjut ke 4.1.
 - b. Jika ada beban berlebih baru atau tegangan tinggi baru dikenalkan lanjut ke 4.8.

Step 5

Menentukan beban yang tidak perlu diperbaharui.

Jika seluruh area out-of-service tidak dapat diperbaharui melalui step 3 dan 4 tanpa merusak pembatas, kemudian yang non-prioritas, dan jika dibutuhkan beban prioritas dipilih sebagai pengecualian dari perbaikan. Ini diterima dengan membuka ss di area penyediaan oleh ts_1 , yang ditunjuk sebagai ss_{iso} , yang memisahkan beban dari perbaikan:

- 5.1. Partisi bahan ss ke dalam area yang menyediakan beban prioritas dan yang tidak.
- 5.2. Pisahkan daftar dari ss tanpa prioritas umum dengan menambahkan perintah dari I_{ss} .
- 5.3. Pilih ss selanjutnya dalam daftar, atur sebagai ss_{iso} , jika tidak ada penambahan ss muncul lalu lanjut step 5.8.
- 5.4. Pisahkan daftar dari $I_{LC,ts1}^{opt}$ dengan menambahkan perintah seperti $I_{ss} \geq \overline{ovrld} - I_{LC,ts1}^{opt}$.
- 5.5. Pilih $I_{LC,ts1}^{opt}$ selanjutnya dalam daftar jika tidak muncul lagi, operasikan ss_{iso} , jalankan power flow, update \overline{ovrld} , atur $n_{ops} = n_{ops} + 1$ dan lanjut ke 5.3.
- 5.6. Jika $I_{LC}^{opt} > 0$, implementasikan LC dan lanjutkan.
- 5.7. Operasikan ss_{iso} , jalankan power flow, periksa pembatas.

Jika tidak ada hambatan, atur $n_{ops} = n_{ops} + 1$ dan lanjut ke step 6. Kemudian, lepas LC dan ss_{iso} , dan lanjut ke 5.5.
- 5.8. Pisahkan ss dengan prioritas umum dengan menambahkan perintah penyediaan beban prioritas, lanjut ke 5.3.

Step 6

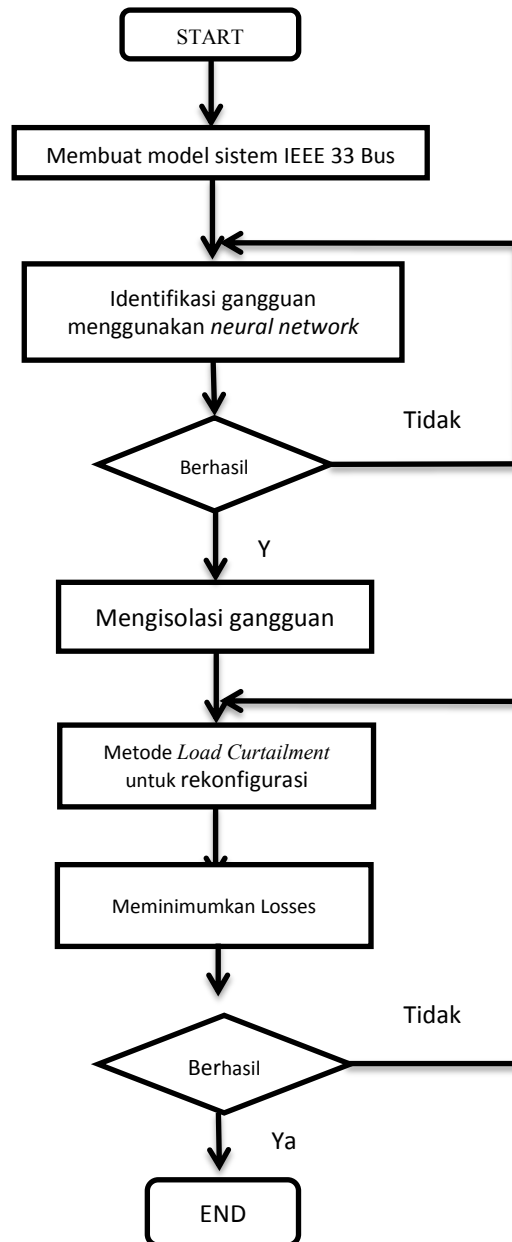
Kembali ke skema pengaturan yang dilakukan.

Untuk mengimplementasikan pembaharuan/perbaikan, LC pengikuti dan rangkaian saklar dilakukan :

- 6.1. Kurangi semua beban yang diidentifikasi/dikenali pada step 3, 4, atau 5.
- 6.2. Buka semua ss_{iso} yang dipilih di step 5.
- 6.3. Operasikan saklar penyambung yang diidentifikasi di step 4, pertama buka ss_A pada setiap sambungan.
- 6.4. Tutup ts_1 .

Untuk menunjukkan tampilan dari algoritma solusi yang diajukan. Sebuah aturan studi kasus dalam sebuah sistem distribusi actual akan dihadirkan selanjutnya. Untuk setiap kasus, akan terlihat bahwa algoritma solusi dengan sukses menemukan sebuah solusi optimal.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini dibahas mengenai hasil simulasi dari sistem IEEE 33. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 3, sistem pertama yang dianalisis adalah IEEE 33 bus dengan 32 *sectionalizing switch* dan 5 *tie switch*. Sistem kedua adalah sistem distribusi karang asem dengan 25 *sectionalizing switch* dan 4 *tie switch*. Terdapat dua bagian simulasi yaitu identifikasi menggunakan *Neural Network* (NN) dan rekonfigurasi menggunakan algoritma *Load Curtailment*. Kombinasi saluran dan penggunaan *tie switch* yang dibuka mengacu pada I_{LC}^{avail} (arus *available*), I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi).

4.1. Sistem IEEE 33 Bus

Sebelum mengidentifikasi dan merekonfigurasi sistem IEEE 33 bus ini, sistem ini dijalankan *load flow* terlebih dahulu. Hasil *running load flow* akan dibandingkan antara dua jenis *software*, yakni menggunakan etap dan matlab. Berikut ini adalah hasil *running load flow*:

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tegangan dan Sudut Pada Etap Dan Matlab

Bus	Etap		Matlab		Presentase Error	
	Teg(kV)	Angle(Deg)	Teg (kV)	Angle(Deg)	Teg (%)	Angle (%)
1	20	0	20	0	0	0
2	19,831	0,28	198,303	0,2837	0,004	1,321
3	19,736	0,32	19,736	0,3182	0	0,563
4	19,679	0,34	196,784	0,3439	0,003	1,147
5	19,622	0,37	196,214	0,3689	0,003	0,297
6	19,48	0,33	194,801	0,3327	0,001	0,818
7	19,453	0,25	194,534	0,2461	0,002	1,56
8	19,416	0,26	194,161	0,2593	0,001	0,269
9	19,368	0,23	193,682	0,2319	0,001	0,826
10	19,323	0,21	193,237	0,2086	0,004	0,667
11	19,317	0,21	193,171	0,2112	0,001	0,571
12	19,305	0,22	193,056	0,2154	0,003	2,091

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tegangan Dan Sudut Pada Etap Dan Matlab

Bus	Etap		Matlab		Presentase Error	
	Teg(kV)	Angle(Deg)	Teg (kV)	Angle(Deg)	Teg (%)	Angle (%)
13	19,258	0,18	19,259	0,1817	0,005	0,944
14	19,241	0,15	192,417	0,153	0,004	2
15	19,23	0,14	19,231	0,1392	0,005	0,571
16	19,22	0,13	192,205	0,1307	0,003	0,538
17	19,204	0,1	192,051	0,1027	0,006	2,7
18	19,2	0,1	192,005	0,0992	0,003	0,8
19	19,827	0,28	198,261	0,2793	0,005	0,25
20	19,798	0,25	197,974	0,2523	0,003	0,92
21	19,792	0,24	197,918	0,2445	0,001	1,875
22	19,787	0,24	197,867	0,2363	0,002	1,542
23	19,723	0,31	197,223	0,3147	0,004	1,516
24	19,67	0,28	196,695	0,2797	0,003	0,107
25	19,644	0,26	196,433	0,2626	0,004	1
26	19,466	0,35	194,652	0,3476	0,004	0,686
27	19,446	0,37	194,455	0,3687	0,003	0,351
28	19,358	0,4	193,578	0,4	0,001	0
29	19,295	0,43	192,948	0,4289	0,001	0,256
30	19,268	0,47	192,675	0,4676	0,003	0,511
31	19,236	0,44	192,358	0,4367	0,001	0,75
32	19,229	0,43	192,288	0,4283	0,001	0,395
33	19,227	0,43	192,267	0,4255	0,002	1,047

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Arus Pada Etap Dan Matlab

Dari Bus	Ke Bus	Etap Arus (A)	Matlab Arus (A)	Presentase Error Arus (%)
1	2	113,9	113,935	0,031
2	3	99,2	99,217	0,017
3	4	81,9	81,948	0,059
4	5	77,7	77,719	0,024
5	6	75,8	75,77	0,04
6	7	35,5	35,547	0,132
7	8	28,9	28,912	0,042
8	9	22,3	22,265	0,157
9	10	20,4	20,393	0,034
10	11	18,5	18,518	0,097

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Arus Pada Etap Dan Matlab

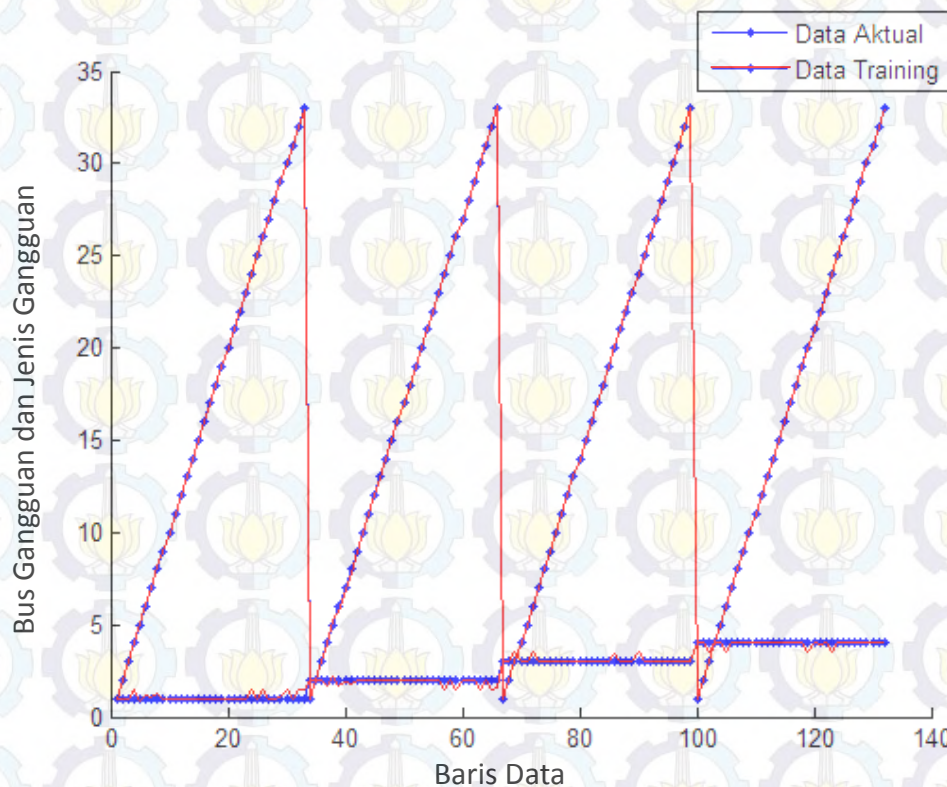
Dari Bus	Ke Bus	Etap Arus (A)	Matlab Arus (A)	Presentase Error Arus (%)
11	12	16,9	16,917	0,101
12	13	14,8	14,849	0,331
13	14	12,8	12,779	0,164
14	15	8,6	8,552	0,558
15	16	6,8	6,755	0,662
16	17	4,9	4,857	0,878
17	18	3	2,962	1,267
2	19	11,5	11,487	0,113
19	20	8,6	8,619	0,221
20	21	5,7	5,747	0,825
21	22	2,9	2,874	0,897
3	23	14,5	14,508	0,055
23	24	27,3	27,327	0,099
24	25	13,7	13,673	0,197
6	26	39,6	39,611	0,028
26	27	37,8	37,847	0,124
27	28	36,1	36,098	0,006
28	29	34,5	34,476	0,07
29	30	30,6	30,593	0,023
30	31	14,1	14,097	0,021
31	32	9,1	9,132	0,352
32	33	2,2	2,165	1,591

4.1.1. Identifikasi Gangguan Menggunakan *Neural Network*

Pada identifikasi gangguan ini, input yang dimasukkan adalah berupa arus hubung singkat di mana pengambilan data dari arus hubung singkat IEEE 33 bus diambil dari simulasi etap. Hubung singkat yang telah disimulasikan di antaranya berupa hubung singkat *3 Phase (3P)*, *Line to Ground (SLG)*, *Line to Line (LL)*, dan *Line Line to Ground (LLG)*. Hubung singkat disimulasikan pada setiap bus. Sedangkan output dari identifikasi gangguan ini berupa bus gangguan dan jenis gangguan. Bus gangguan sebanyak 33, dimana pada sistem ini memiliki 33 bus. Dan jenis gangguan sebanyak 4 gangguan, di mana jenis gangguannya

adalah 3 Phase (3P), Line to Ground (SLG), Line to Line (LL), dan Line Line to Ground (LLG).

Hasil yang diperoleh setelah disimulasikan menggunakan *Neural Network* adalah bus gangguan dan jenis gangguan yang muncul secara otomatis. Berikut ini adalah hasil dari menggunakan *Neural Network* untuk identifikasi gangguan :



Gambar 4.1 Kurva hasil Training Neural Network Sistem IEEE 33 Bus

Setelah *Neural Network* melakukan *training*, arus hubung singkat pada setiap bus dimasukkan sebagai input. Untuk menentukan *Circuit Breaker* mana yang harus dibuka berdasarkan hasil training yang telah disimulasikan menggunakan *Neural Network*, input merupakan arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada setiap bus. Dengan masukan input tersebut, maka diperoleh output berupa bus gangguan dan jenis gangguan.

4.1.2. Rekonfigurasi Menggunakan Algoritma *Load Curtailment*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa salah satu output dari hasil training Neural Network yaitu bus gangguan yang menjadi patokan dari algoritma *Load Curtailment* untuk melakukan rekonfigurasi. Pada algoritma *Load Curtailment*, ketika bus gangguan diketahui, maka secara otomatis *Load Curtailment* dapat menentukan *circuit breaker* mana yang terbuka dan *tie switch* mana yang bekerja. *circuit breaker* yang dibuka adalah *circuit breaker* yang ada di upstream bus dan downstream bus yang terjadi gangguan. Sedangkan untuk penggunaan *tie switch*, dapat dilihat dari 3 hal yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Untuk melakukan simulasi rekonfigurasi sistem setelah terjadi arus hubung singkat, dapat dilihat pada I_{LC}^{avail} (arus *available*), I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi). Maka *Load Curtailment* memilih *circuit breaker* dan *tie switch*. Dalam hal ini, *circuit breaker* terbuka atau tidak bekerja, sedangkan *tie switch* bekerja atau dipasang pada rangkain dengan nilai impedansi dan reaktansi yang ada pada sistem IEEE 33 Bus. Untuk arus *available*, dapat dilihat dari jumlah beban upstream bus tempat diletakkannya *tie switch*. *Tie switch* yang terpilih berdasarkan arus *available* adalah nilai arus beban terkecil. Untuk arus *spare capacity*, dapat dilihat dari kemungkinan saluran *tie switch* mana yang paling besar arus *spare capacity* pada saluran itu. Di mana arus *spare capacity* ini diperoleh dari pengurangan arus maksimal yang mengalir pada saluran terhadap arus nominal pada saluran sebelum terjadi gangguan. Sedangkan untuk jarak impedansi, dapat dilihat dari pembagian tegangan *tie switch* dengan jumlah seluruh arus beban. Jarak impedansi terkecil yang akan terpilih. Ketika ketiga syarat tersebut terpenuhi, maka *tie switch* itulah yang akan dipilih berdasarkan algoritma *Load Curtailment*. Hasil dari simulasi rekonfigurasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Pemilihan *Tie Switch* berdasarkan *Load Curtailment* Sistem IEEE 33 Bus

Bus Gangguan	LC Kerugian Daya Total (KW)	Non LC Kerugian Daya Total (KW)	Option Tie Switch yang akan dipilih	Tie Switch Terpilih
3	8,020181	9,500101	[21 8] dan [25 29], [22 12] dan [25 29]	[22 12] dan [25 29]
4	6,904132	8,540307	[21 8] , [22 12]	[22 12]
5	7,286642	8,960482	[21 8] , [22 12]	[22 12]
6	7,162925	8,941362	[21 8] dan [25 29], [22 12] dan [25 29]	[22 12] dan [25 29]
7	16,651262	18,702267	[21 8] , [22 12]	[22 12]
8	19,077909	20,031178	[22 12] , [33 18]	[22 12]
9	21,877018	22,93387	[22 12] , [33 18]	[22 12]
10	22,606644	22,710026	[22 12] , [9 15]	[9 15]
11	23,508176	23,583903	[22 12] , [9 15]	[9 15]
12	24,341689	25,537278	[9 15] , [33 18]	[9 15]
13	25,467418	26,667259	[9 15] , [33 18]	[9 15]
14	26,652577	27,85666	[9 15] , [33 18]	[9 15]
15	30,602095	30,602095	[33 18]	[33 18]
16	31,75129	31,75129	[33 18]	[33 18]
17	33,09099	33,09099	[33 18]	[33 18]
19	33,714125	34,083741	[12 22] , [8 21]	[8 21]
20	34,328227	34,698255	[12 22] , [8 21]	[8 21]
21	35,342728	35,342728	[12 22]	[12 22]
23	40,557714	40,557714	[29 25]	[29 25]
24	36,514305	36,514305	[29 25]	[29 25]
26	14,996093	15,234749	[25 29] , [18 33]	[18 33]
27	15,673129	15,909019	[25 29] , [18 33]	[18 33]
28	16,3775	16,610594	[25 29] , [18 33]	[18 33]
29	17,082537	17,082537	[18 33]	[18 33]
30	18,464052	18,464052	[18 33]	[18 33]
31	26,421988	26,421988	[18 33]	[18 33]
32	29,562575	29,562575	[18 33]	[18 33]

Dari hasil simulasi di atas, penelitian ini telah mencapai objective function dari metode *Load Curtailment*. Yaitu sebagai berikut:

$$(1) \min |average(V_{bus}) - 1| \quad (4.1)$$

Meminimalkan nilai tegangan rata-rata pada setiap bus. Semakin kecil nilai rata-rata setiap bus, maka semakin bagus.

Tabel 4.4 Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Rekonfigurasi

Nomor Bus	Average Vbus Vbus=1	Objective Function Average Vbus-1 = 0
3	0,99475	0,00525
4	0,99513	0,00487
5	0,99488	0,00512
6	0,99528	0,00472
7	0,98933	0,01067
8	0,98796	0,01204
9	0,98643	0,01357
10	0,98557	0,01443
11	0,98452	0,01548
12	0,98345	0,01655
13	0,98221	0,01779
14	0,98087	0,01913
15	0,97816	0,02184
16	0,97664	0,02336
17	0,97496	0,02504
19	0,97325	0,02675
20	0,97279	0,02721
21	0,97186	0,02814
23	0,9707	0,02930
24	0,97192	0,02808
26	0,9854	0,01460
27	0,98456	0,01544
28	0,98369	0,01631
29	0,98279	0,01721
30	0,98138	0,01862
31	0,97771	0,02229
32	0,97551	0,02449

4.2. Sistem Distribusi Karangasem

Sebelum mengidentifikasi dan merekonfigurasi sistem Distribusi Karangasem ini, sistem ini dijalankan *load flow* terlebih dahulu. Hasil *running load flow* akan dibandingkan antara dua jenis *software*, yakni menggunakan etap dan matlab. Berikut ini adalah hasil *running load flow*:

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Tegangan dan Sudut Pada Etap Dan Matlab.

Bus	Etap		Matlab		Presentase Error	
	Teg(kV)	Angle(Deg)	Teg (kV)	Angle(Deg)	Teg (%)	Angle (%)
1	20	0	20	0	0,0000	0,0000
2	19,999	0	19,9986	-0,0011	0,0020	0,0020
3	19,998	0	19,9981	-0,002	0,0005	0,0005
4	19,995	-0,01	19,9945	-0,007	0,0025	0,0025
5	19,986	-0,01	19,9855	-0,0137	0,0025	0,0025
6	19,976	-0,02	19,9744	-0,022	0,0080	0,0080
7	19,975	-0,02	19,9731	-0,023	0,0095	0,0095
8	19,974	-0,02	19,9717	-0,0241	0,0115	0,0115
9	19,973	-0,02	19,9701	-0,0252	0,0145	0,0145
10	19,971	-0,02	19,9686	-0,0264	0,0120	0,0120
11	19,97	-0,03	19,967	-0,0276	0,0150	0,0150
12	19,969	-0,03	19,9656	-0,0287	0,0170	0,0170
13	19,968	-0,03	19,9646	-0,0295	0,0170	0,0170
14	19,967	-0,03	19,9622	-0,0313	0,0240	0,0240
15	19,966	-0,03	19,9612	-0,032	0,0240	0,0240
16	19,966	-0,03	19,9607	-0,0324	0,0265	0,0265
17	19,966	-0,03	19,9607	-0,0324	0,0265	0,0265
18	19,966	-0,03	19,9607	-0,0324	0,0265	0,0265
19	19,985	-0,01	19,9854	-0,0139	0,0020	0,0020
20	19,985	-0,01	19,9854	-0,0139	0,0020	0,0020
21	19,971	-0,02	19,9683	-0,0266	0,0135	0,0135
22	19,966	-0,03	19,9611	-0,0321	0,0245	0,0245
23	19,965	-0,03	19,9599	-0,033	0,0255	0,0255
24	19,964	-0,03	19,9599	-0,0331	0,0205	0,0205
25	19,964	-0,03	19,9595	-0,0333	0,0225	0,0225
26	19,965	-0,03	19,9598	-0,0331	0,0260	0,0260

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Arus Pada Etap Dan Matlab

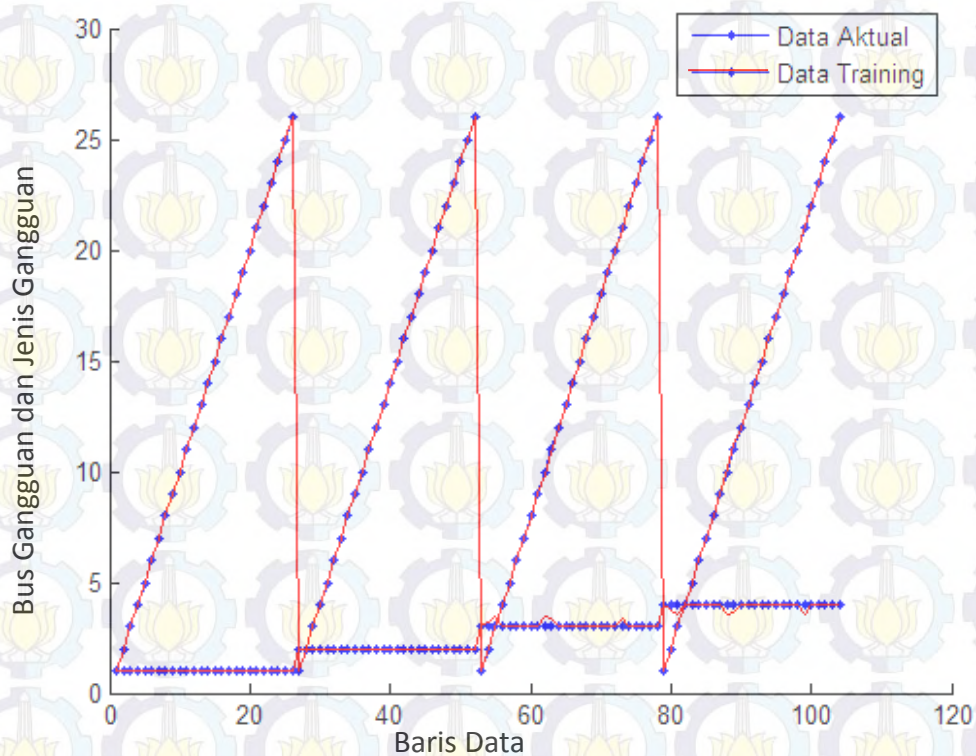
Dari Bus	Ke Bus	Etap	Matlab	Presentase Eror
		Arus (A)	Arus (A)	Arus (%)
1	2	35,4	35,434	0,0960
2	3	35,4	35,434	0,0960
3	4	35,4	35,434	0,0960
4	5	35,4	35,434	0,0960
5	6	26,8	26,848	0,1791
6	7	26,8	26,848	0,1791
7	8	24	23,992	0,0333
8	9	22,1	22,123	0,1041
9	10	22,1	22,123	0,1041
10	11	16,4	16,411	0,0671
11	12	16,4	16,411	0,0671
12	13	13,4	13,426	0,1940
13	14	10,6	10,569	0,2925
14	15	10,6	10,569	0,2925
15	16	0	0	0,0000
16	17	0	0	0,0000
17	18	0	0	0,0000
5	20	4,9	4,851	1,0000
20	19	3	2,983	0,5667
10	21	2,9	2,856	1,5172
15	22	7,6	7,584	0,2105
22	23	7,6	7,584	0,2105
23	24	4,7	4,727	0,5745
24	25	1,9	1,87	1,5789
23	26	0	0	0,0000

4.2.1. Identifikasi Gangguan Menggunakan *Neural Network*

Pada identifikasi gangguan ini, input yang dimasukkan adalah berupa arus hubung singkat di mana pengambilan data dari arus hubung singkat Sistem Distribusi Karangasem diambil dari simulasi etap. Hubung singkat yang telah disimulasikan di antaranya berupa hubung singkat *3 Phase (3P)*, *Line to Ground (SLG)*, *Line to Line (LL)*, dan *Line Line to Ground (LLG)*. Hubung singkat disimulasikan pada setiap bus. Sedangkan output dari identifikasi gangguan ini berupa bus gangguan dan jenis gangguan. Bus gangguan sebanyak 26, pada sistem ini memiliki 26 bus. Dan jenis gangguan sebanyak 4 gangguan, di mana

jenis gangguannya adalah 3 Phase (3P), Line to Ground (SLG), Line to Line (LL), dan Line Line to Ground (LLG).

Hasil yang diperoleh setelah disimulasikan menggunakan *Neural Network* adalah bus gangguan dan jenis gangguan yang muncul secara otomatis. Berikut ini adalah hasil dari menggunakan *Neural Network* untuk identifikasi gangguan :



Gambar 4.2 Kurva hasil Training Neural Network Sistem Distribusi Karangasem

Setelah *Neural Network* melakukan *training*, arus hubung singkat pada setiap bus dimasukkan sebagai input. Untuk menentukan *Circuit Breaker* mana yang harus dibuka berdasarkan hasil training yang telah disimulasikan menggunakan *Neural Network*, input merupakan arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada setiap bus. Dengan masukan input tersebut, maka diperoleh output berupa bus gangguan dan jenis gangguan.

4.2.2. Rekonfigurasi Menggunakan Algoritma *Load Curtailment*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa salah satu output dari hasil training Neural Network yaitu bus gangguan yang menjadi patokan dari algoritma *Load Curtailment* untuk melakukan rekonfigurasi. Pada algoritma *Load Curtailment*, ketika bus gangguan diketahui, maka secara otomatis *Load Curtailment* dapat menentukan *circuit breaker* yang terbuka dan *tie switch* yang bekerja. *circuit breaker* yang dibuka adalah *circuit breaker* yang ada di upstream bus dan downstream bus yang terjadi gangguan. Sedangkan untuk penggunaan *tie switch*, dapat dilihat dari 3 hal yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Untuk melakukan simulasi rekonfigurasi sistem setelah terjadi arus hubung singkat, dapat dilihat pada I_{LC}^{avail} (arus *available*), I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi). Maka *Load Curtailment* memilih *circuit breaker* dan *tie switch*. Dalam hal ini, *circuit breaker* terbuka atau tidak bekerja, sedangkan *tie switch* bekerja atau dipasang pada rangkain dengan nilai impedansi dan reaktansi yang ada pada sistem IEEE 33 Bus. Untuk arus *available*, dapat dilihat dari jumlah beban upstream bus tempat diletakkannya *tie switch*. *Tie switch* yang terpilih berdasarkan arus *available* adalah nilai arus beban terkecil. Untuk arus *spare capacity*, dapat dilihat dari kemungkinan saluran *tie switch* mana yang paling besar arus *spare capacity* pada saluran itu. Arus *spare capacity* ini diperoleh dari pengurangan arus maksimal yang mengalir pada saluran terhadap arus nominal pada saluran sebelum terjadi gangguan. Sedangkan untuk jarak impedansi, dapat dilihat dari pembagian tegangan *tie switch* dengan jumlah seluruh arus beban. Jarak impedansi terkecil yang akan terpilih. Ketika ketiga syarat tersebut terpenuhi, maka *tie switch* itulah yang akan dipilih berdasarkan algoritma *Load Curtailment*. Dan hasil dari simulasi rekonfigurasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Pemilihan *Tie Switch* berdasarkan *Load Curtailment* Sistem Karangasem

Bus Gangguan	LC Kerugian Daya Total (KW)	Non LC Kerugian Daya Total (KW)	Option Tie Switch yang akan dipilih	Tie Switch Terpilih
3	0,013925	0,013925	[2 21]	[2 21]
4	0,013925	0,013925	[2 21]	[2 21]
5	0,013312	0,014707	[2 20] dan [19 21], [2 20] dan [4 16]	[2 20] dan [19 21]
6	0,013409	0,016494	[19 21] , [4 16]	[19 21]
7	0,017132	0,025478	[19 21] , [4 16]	[19 21]
8	0,017252	0,025283	[19 21] , [4 16]	[19 21]
9	0,026486	0,038032	[19 21] , [4 16]	[19 21]
10	0,038331	0,042872	[19 21] dan [4 16], [19 21] dan [9 26]	[19 21] dan [4 16]
11	0,036021	0,063284	[4 16] , [9 26]	[9 26]
12	0,058458	0,090368	[4 16] , [9 26]	[9 26]
13	0,058458	0,089835	[4 16] , [9 26]	[9 26]
14	0,090227	0,125687	[4 16] , [9 26]	[9 26]
15	0,150768	0,187907	[4 16] dan [18 25], [4 16] dan [9 26]	[4 16] dan [18 25]
16	0,129198	0,384698	[9 26] , [25 18]	[9 26]
17	0,179977	0,473917	[9 26] , [25 18]	[9 26]
20	0,469355	0,469355	[21 19]	[21 19]
22	0,235605	0,265911	[9 26] , [25 18]	[9 26]
23	0,374933	0,374933	[9 26]	[18 25] dan [9 26]
24	0,2995	0,386239	[9 26] , [25 18]	[9 26]

Dari hasil simulasi di atas, penelitian ini telah mencapai objective function dari metode *Load Curtailment*. Yaitu sebagai berikut:

$$1. \min |average(V_{bus}) - 1| \quad (4.1)$$

Meminimalkan nilai tegangan rata-rata pada setiap bus. Semakin kecil nilai rata-rata setiap bus, maka semakin bagus.

Tabel 4.8 Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Rekonfigurasi

Nomor Bus	Average Vbus Vbus=1	Objective Function Average Vbus-1 = 0
3	19,9981	0,0000950
4	19,9945	0,0002750
5	19,9855	0,0007250
6	19,9744	0,0012800
7	19,9731	0,0013450
8	19,9717	0,0014150
9	19,9701	0,0014950
10	19,9686	0,0015700
11	19,967	0,0016500
12	19,9656	0,0017200
13	19,9646	0,0017700
14	19,9622	0,0018900
15	19,9612	0,0019400
16	19,9607	0,0019650
17	19,9607	0,0019650
20	19,9854	0,0007300
22	19,9611	0,0019450
23	19,9599	0,0020050
24	19,9599	0,0020050

Selain mencapai *objective function*, rekonfigurasi pada penelitian ini juga telah memenuhi nilai *constraints*. *Constraints* pada metode ini adalah sebagai berikut:

$$a. |I_k^p| \leq I_k^{max} \quad \forall k \in F \quad (4.2)$$

Arus yang masuk ke bus dan arus yang keluar dari bus harus kurang dari atau sama dengan arus maksimum di bus k.

$$b. P_l^2 + Q_l^2 \leq (S_l^{max})^2 \quad \forall l \in F \quad (4.3)$$

Daya aktif dan daya reaktif yang mengalir di cabang harus kurang dari atau sama dengan daya maksimum.

$$c. V_k^{min} \leq |V_k^p| \leq V_k^{max} \quad \forall k \in N, p \in a, b, c \quad (4.4)$$

Tegangan fasa a,b,c pada bus k harus di antara tegangan minimal (Vmin) dan tegangan maksimum (Vmax).

$$d. |I_{LC,k}^p| \leq I_{LC,k}^{p,max} \quad \forall k \in N_{LC}, p \in a, b, c \quad (4.5)$$

Arus beban yang akan dikurangi harus lebih kecil atau sama dengan arus beban maksimum beban yang akan dikurangi.

Optimisasi *Load Curtailment* mencakup beberapa hal penting sebagai berikut :

1. Dengan *Load Curtailment*, *losses* pada sistem dapat berkurang dengan adanya pemasangan *tie switch*.
2. Dengan memperhitungkan nilai I_{LC}^{avail} (arus *available*) , I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi), maka akan lebih banyak beban yang disuplai karena beban yang tadinya lepas karena adanya gangguan pada suatu bus, beban tersebut akan direstorasi kembali ke sistem dengan penggunaan *tie switch*.

3. Dengan *Load Curtailment* ini dapat mengurangi jumlah *tie switch* yang digunakan. Ketika di lapangan menggunakan beberapa *tie switch* yang berada dekat dengan gangguan, pada *Load Curtailment* ini hanya menggunakan *tie switch* yang memenuhi I_{LC}^{avail} (arus *available*) , I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi) yang sesuai. *Tie Switch* ini dapat menjadi saluran pengganti untuk menghubungkan sumber dengan beban yang lepas akibat adanya gangguan.

4.3. Perbandingan Algoritma *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error*

Untuk mengetahui apakah *Load Curtailment* ini merupakan metode yang optimal atau tidak, maka perlu diadakan perbandingan. Metode perbandingan yang digunakan adalah Metode *Trial Error*, yaitu dengan cara mencoba *tie switch* lain untuk dipasangkan ke sistem. Ternyata dengan mencoba memilih *tie switch* tanpa adanya syarat-syarat seperti yang digunakan oleh *Load Curtailment*, hasil *losses* yang diperoleh lebih besar daripada *Load Curtailment*. Berikut ini adalah tabel perbandingan antara *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error*.

Tabel 4.9 Tabel Perbandingan antara *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error* pada Sistem IEEE 33 Bus

Bus Gangguan	<i>Load Curtailment</i> Kerugian Daya Total (KW)	<i>Trial Error</i> Kerugian Daya Total (KW)
3	8,020181	9,500101
4	6,904132	8,540307
5	7,286642	8,960482
6	7,162925	8,941362
7	16,651262	18,702267
8	19,077909	20,031178
9	21,877018	22,93387
10	22,606644	22,710026
11	23,508176	23,583903
12	24,341689	25,537278
13	25,467418	26,667259
14	26,65258	27,85666
15	30,6021	30,6021

Tabel 4.9 Tabel Pembandingan antara *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error* pada Sistem IEEE 33 Bus

Bus Gangguan	<i>Load Curtailment</i> Kerugian Daya Total (KW)	<i>Trial Error</i> Kerugian Daya Total (KW)
16	3,175,129	3,175,129
17	3,309,099	3,309,099
19	3,371,413	3,408,374
20	3,432,823	3,469,826
21	3,534,273	3,534,273
23	4,055,771	4,055,771
24	3,651,431	3,651,431
26	1,499,609	1,523,475
27	1,567,313	1,590,902
28	163,775	1,661,059
29	1,708,254	1,708,254
30	1,846,405	1,846,405
31	2,642,199	2,642,199
32	2,956,258	2,956,258

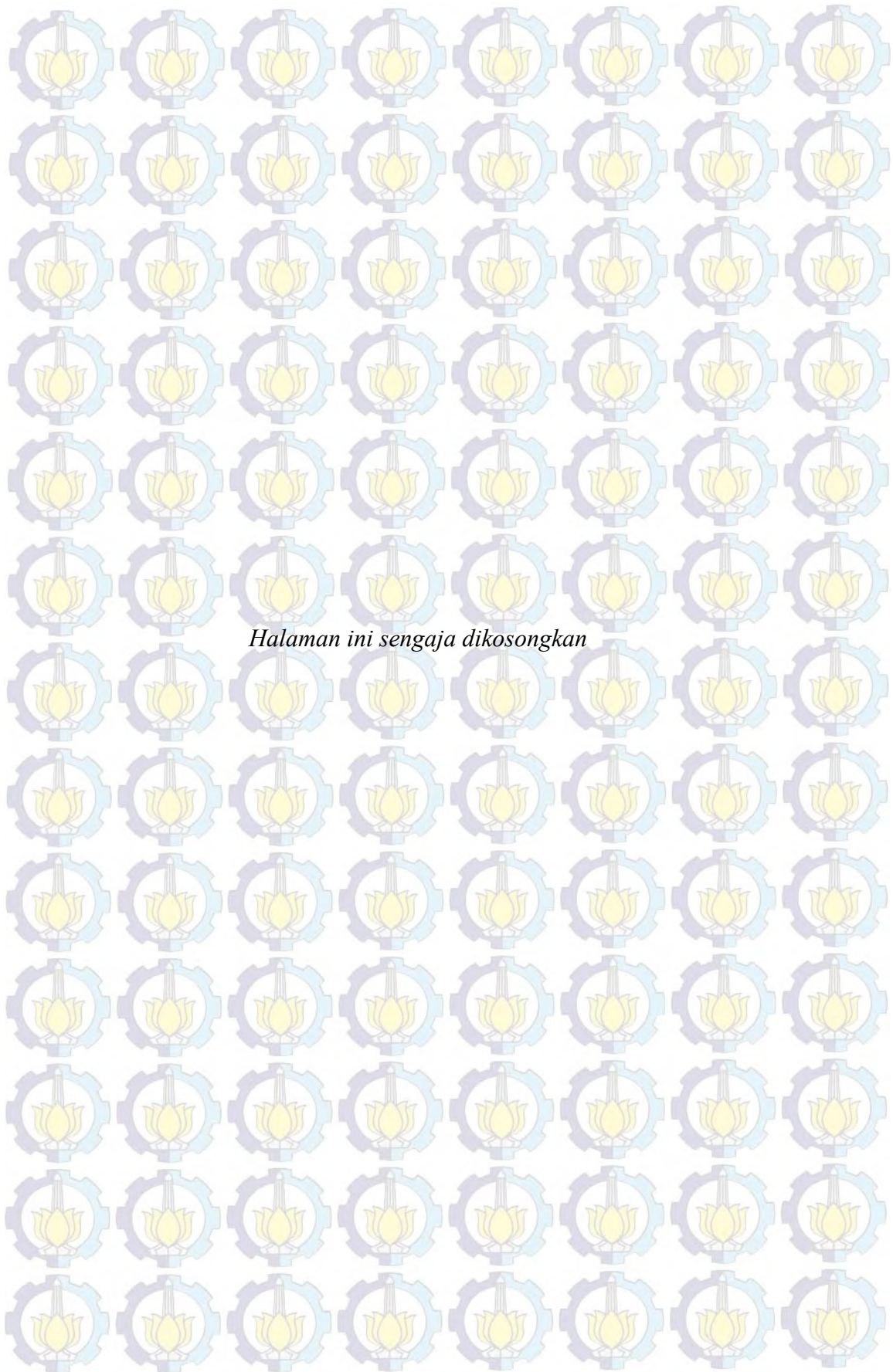
Tabel 4.10 Tabel Pembandingan antara *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error* pada Sistem Distribusi Karangasem.

Bus Gangguan	<i>Load Curtailment</i> Kerugian Daya Total (KW)	<i>Trial Error</i> Kerugian Daya Total (KW)
3	0,013925	0,013925
4	0,013925	0,013925
5	0,013312	0,014707
6	0,013409	0,016494
7	0,017132	0,025478
8	0,017252	0,025283
9	0,026486	0,038032
10	0,038331	0,042872
11	0,036021	0,063284
12	0,058458	0,090368
13	0,058458	0,089835
14	0,090227	0,125687
15	0,150768	0,187907
16	0,129198	0,384698
17	0,179977	0,473917
20	0,469355	0,469355

Tabel 4.10 Tabel Pembandingan antara *Load Curtailment* dan Metode *Trial Error* pada Sistem Distribusi Karangasem.

Bus Gangguan	<i>Load Curtailment</i> Kerugian Daya Total (KW)	<i>Trial Error</i> Kerugian Daya Total (KW)
22	0,235605	0,265911
23	0,374933	0,374933
24	0,2995	0,386239

Dari tabel di atas terlihat bahwa dengan menggunakan *Load Curtailment*, pemilihan *tie switch* lebih optimal dilihat dengan losses yang rendah.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan:

1. Rekonfigurasi menggunakan *Load Curtailment* telah terbukti bahwa lebih optimal dilihat dari nilai kerugian daya. Pada sistem IEEE 33 Bus menurun dari 8,941362 KW menjadi 7,162925 KW dan untuk sistem Karangasem dari 0,063284 KW menjadi 0,036021 KW.
2. Dengan memperhitungkan nilai I_{LC}^{avail} (arus *available*), I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi), maka akan lebih banyak beban yang disuplai karena beban yang tadinya lepas karena adanya gangguan pada suatu bus, beban tersebut akan direstorasi kembali ke sistem dengan penggunaan *tie switch*.
3. Dengan *Load Curtailment* ini dapat mengurangi jumlah *tie switch* yang digunakan, pada *Load Curtailment* ini hanya menggunakan *tie switch* yang memenuhi syarat I_{LC}^{avail} (arus *available*), I_M (arus *spare capacity*), dan Z_{path} (jarak impedansi) yang dapat menjadi saluran pengganti untuk menghubungkan sumber dengan beban yang lepas akibat adanya gangguan.
4. Setelah dilakukan simulasi, ternyata rekonfigurasi dalam penelitian ini juga dapat menjaga keradialan sistem dan dapat mempertahankan nilai tegangan sebesar kurang lebih 1 pu.

5.2. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut lagi untuk menentukan letak dan nilai impedansi dan reaktansi pada *tie switch*.
2. Untuk beban yang diisolasi karena terjadi gangguan, perlu diadakan penelitian lebih lanjut agar beban tersebut tetap dapat disuplai meskipun terjadi gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Asuhaimi MZ, A.K Ferdavani, Azhar B.K, Marjan M.N. (2012), "Reconfiguration of Radial Electrical Distribution Network Through Minimum - Current Circular – Updating - Mechanism Method," *IEEE Trans.Power Syst.*,vol.27,no.2,pp.968-974.
- D.Shirmohammadi and H.W Hong. (1989), "Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction," *IEEE Trans.Power Del.*,vol.4,no.2, pp.1492-1498, Apr.
- De Groot, R. J. W., J. Morren, and J. G. Slootweg. (2012), "Smart integration of distribution automation applications." *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on.* IEEE,
- Ding, Fei, and Kenneth A. Loparo. (2012), "A simple heuristic method for smart distribution system reconfiguration." *Energytech, 2012 IEEE.* IEEE.
- Funmilayo, Hamed B., James A. Silva, and Karen L. Butler-Purry. (2012), "Overcurrent Protection for the IEEE 34-Node Radial Test Feeder." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 27.2: 459-468.
- Gohokar, V. N., and M. K. Khedkar. (2005), "Faults locations in automated distribution system." *Electric power systems research* 75.1: 51-55.
- Jen Hao Teng. (2000), "A Network Topology based Three Phase Load Flow for Distribution System", *Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A)* vol.24, no.4,pp.259-264.
- Jizhong Zhu,"Optimization of Power System Operation,"*IEEE Press Series on Power Engineering: Wiley and Sons,Inc.*,publication.
- Kleinberg, Michael R., Karen Miu, and Hsiao-Dong Chiang. (2011), "Improving service restoration of power distribution systems through load curtailment of in-service customers." *Power Systems, IEEE Transactions on* 26.3: 1110-1117.
- Kleinberg, Michael, Karen Miu, and Hsiao-Dong Chiang. (2009), "Service restoration of power distribution systems incorporating load curtailment." *Circuits and Systems, 2009. ISCAS 2009. IEEE International Symposium on.* IEEE.
- Kumar, Yogendra, Biswarup Das, and Jaydev Sharma. (2008), "Multiobjective, multiconstraint service restoration of electric power distribution system with priority customers." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 23.1: 261-270.
- M.E Baran and E.E Wu. (1989), "Network Reconfiguration in Distribution System for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Trans.Power Del.*,vol.4,no.2, pp.1401-1407.
- Magnago, Fernando H., and Ali Abur. (1998), "Fault location using wavelets." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 13.4: 1475-1480.

- Mahmoud, M. S., S. Azher Hussain, and M. A. Abido. (2014), "Modeling and control of microgrid: An overview." *Journal of the Franklin Institute* 351.5: 2822-2859.
- Miu, Karen Nan, and Hsiao-Dong Chiang. (2000), "Electric distribution system load capability: problem formulation, solution algorithm, and numerical results." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 15.1: 436-442.
- Miu, Karen Nan, et al. (1998), "Fast service restoration for large-scale distribution systems with priority customers and constraints." *Power Systems, IEEE Transactions on* 13.3: 789-795.
- Miu, Karen Nan, Hsiao-Dong Chiang, and Russell J. McNulty. (2000), "Multi-tier service restoration through network reconfiguration and capacitor control for large-scale radial distribution networks." *Power Systems, IEEE Transactions on* 15.3: 1001-1007.
- Morelato, A. L., and A. Monticelli. (1989), "Heuristic search approach to distribution system restoration." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 4.4: 2235-2241
- NN. (2007), "Smart Grid for Distribution Systems: The Benefits and Challenges of Distribution Automation (DA)". *Energy Independence and Security Act (EISA)*.
- Pourahmadi-Nakhli, Meisam, and Ali Akbar Safavi. (2011), "Path characteristic frequency-based fault locating in radial distribution systems using wavelets and neural networks." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 26.2: 772-781.
- S.Civanlar, J.J Grainger, H.Yin, S.S.H Lee. (1988), "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction," *IEEE Trans.Power Del.*, vol.3, no.3 pp.1217-1223.
- S.K Goswami and S.K Basu. (1992), "A New Algorithm for The Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization," *IEEE Trans.Power Del.*, vol.7, no.3, pp. 1484-1491.
- Shirmohammadi, Dariush. (1992), "Service restoration in distribution networks via network reconfiguration." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 7.2: 952-958.
- Ucak, Canbolat, and Anil Pahwa. (1994), "An analytical approach for step-by-step restoration of distribution systems following extended outages." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 9.3: 1717-1723.
- Xyngi Ioanna, Popov Marjan. (2013), "An Intelligent Algorithm for The Protection of Smart Power Systems." *IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.4, No.3*.

BIOGRAFI PENULIS

Andarini Asri dilahirkan di Ujung Pandang, 01 Oktober 1990. Penulis adalah putri bungsu dari tiga bersaudara. Penulis memulai jenjang pendidikannya di TK Darma Wanita UNHAS Makassar, SD Inpres Kampus UNHAS Makassar, SLTPN 12 Makassar, serta SMAN 5 Makassar hingga lulus tahun 2008. Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sejak Agustus 2008. Penulis memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga pada Tugas Akhir dan Tesis. Penulis dapat dihubungi di alamat email *andarinasri@gmail.com*.



Halaman ini sengaja dikosongkan